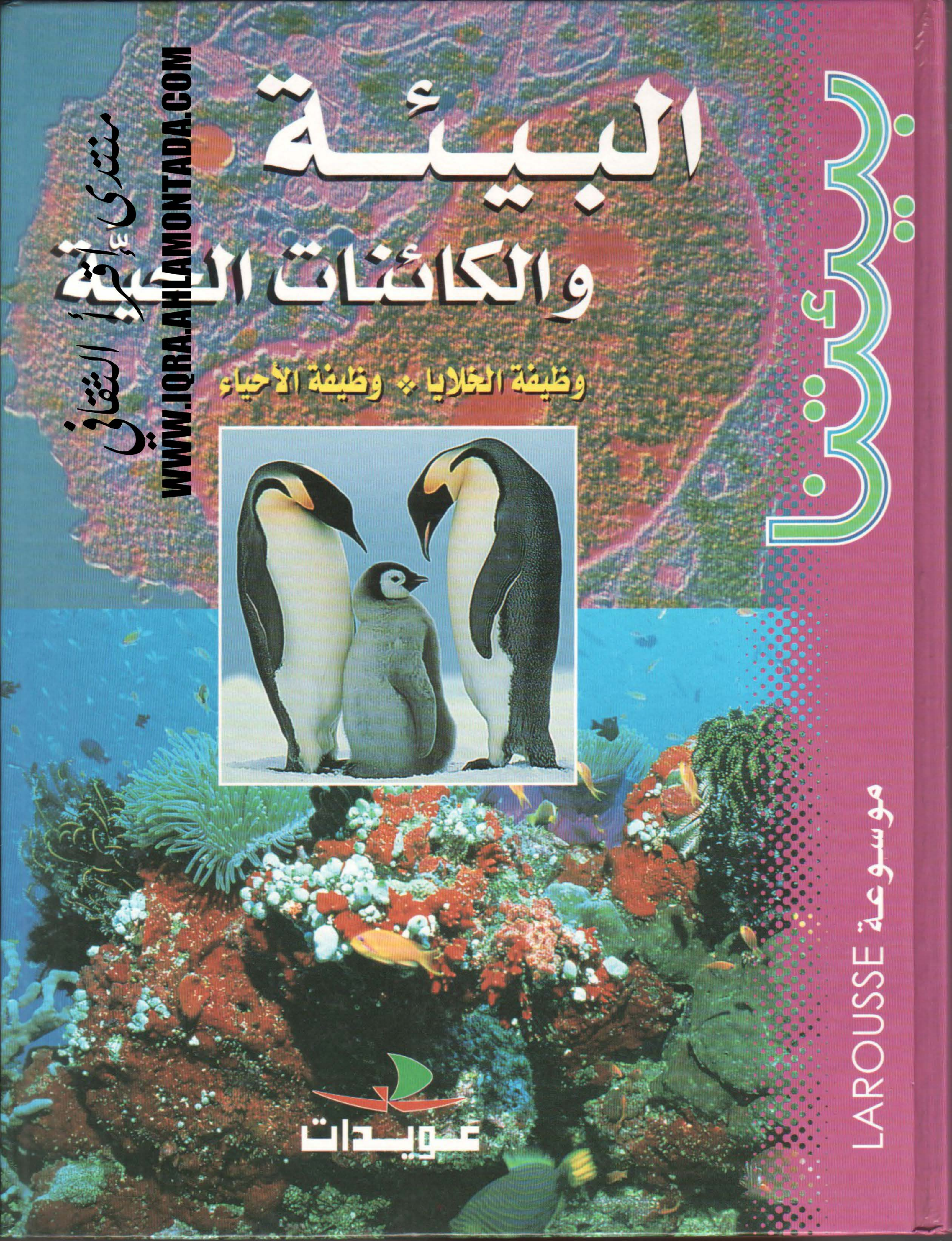

البيئة
والكائنات الحية
وظيفة الخلايا ❖ وظيفة الأحياء
بيئتنا
موسوعة LAROUSSE
عويدات


منتدى إقراء الثقافي
www.iqra.ahlamontada.com
للكتب (كوردى , عربي , فارسي)



موسوعة LAROUSSE

البيئة والكائنات الحيّة

وظيفة الخلايا ـ وظيفة الأحياء

تعريب

د. جورج قاضي



عويدات للنشر والطباعة

بيروت ـ لبنان

بيروت ـ لبنان ـ ص. ب. 628 ـ تلفاكس 305961 1 00961 ـ تلفون 616033 3 00961

E-mail: oueidat _ editions@hotmail.com

الإدارة

إيزابيل بورديال

تأليف

جيرالدين مانيان

الصور: إعداد ومتابعة

جاكلين باجويه

الرسوم

لوران بلونديل، فابريس دادون، مارك دومولان، باتريك موران،

كلود بوبيه، دومينيك روسال، ليوني سكلوسّير،

ميشال سيمان، باتريك تايرون، كلير ويت، توم سام يو، أرشيف **Larousse**

الطبعة العربية

إشراف ميسر عبد العال

تنفيذ سامو برس غروب

رقم التسجيل في الترقيم العالمي ISBN 9953-28

الطبعة 2008

الـفـهـرس

وظيفة الخلايا



الحياة 8

غرابة المادة الحية

الخلية 10

الوحدة الأساسية للكائن الحيّ

تجمّعات الخلايا 12

نحو كائنات حيّة متعددة الخلايا

صورة مكبّرة للخلايا 14

معمل مصغّر

الطاقة في الخليّة 16

الخلايا تتنفس

الحوارات الخليوية 18

الاتصال بين الخلايا

تركيب البروتينات 20

عندما تتمكّن الجينات من التعبير

رحلة البروتينات 22

حركة مستمرة داخل الخلية

الانقسام الخليوي 24

التوالد بشكل مماثل

وظيفة الأحياء



التوالد الجنسي (أو الشقّي) 26

مزج الجينات وولادة كائنات جديدة

قوانين الوراثة 28

قصة البازيلا

الطفرات 30

حوادث جينية وترميم

التركيب الضوئي 32

التغذّي بالضوء

تغذية النبات 34

بالهواء، الماء والأملاح المعدنية

استقلاب النباتات 36

الثنائي: التركيب الضوئي / التنفّس

دور الأزهار 38

توالد مغلفات البزور

من البزرة إلى النبتة 40

تطوّر النباتات ونموها

التنفّس 42

الخياشيم، أنابيب التنفس، الرئتان

الدم، نسيج أصلي 44

ناقل فعّال

الدورة الدموية 46

ضخ وتوزيع في كل أنحاء الجسم

التغذية والهضم 48

تلبية الحاجات الغذائية

إدارة الطاقة 50

ضبط معدل السكر، أمر ضروري

الحر أو البرد 52

آثار درجة الحرارة

التحكّم بدرجة حرارة الجسم	54
تلقي الحرارة، تبديدها، المحافظة عليها	
مراقبة ماء الجسم	56
التوازن بين ما يخسر الجسم من ماء وما يتلقاه	
الإخراج	58
التخلص من الفضلات السامة	
الهيكل العظمي	60
بنية متحركة داخلية أو خارجية	
الجهاز العصبي	62
رسائل تتحرك بأقصى سرعة	
عالم الحواس	64
الإحساس بالمحيط	
ساعة زمنية في الرأس	66
الأنظمة البيولوجية	
الجهاز الهرموني	68
عندما تتخاطب الخلايا فيما بينها	
المناعة	70
دفاعات الأحياء	
التوالد	72
بالجنس أو بدون جنس	
بيضة واعدة بالمستقبل	74
نمو المضغة	
النمو	76
من مرحلة الطفولة حتى البلوغ	
استراتيجيات التوالد	78
التزام أم ترك الأمر للصدفة	

عويدات للنشر والطباعة 2006/1079



الحياة

غرابة المادّة الحيّة

نظراً لصعوبة إيجاد تحديد للحياة نفسها، يسعى علماء الأحياء إلى كشف الخصائص المشتركة الكبيرة الموجودة بين الكائنات الحيّة والتي تميِّزها بشكل كلّي عن المادّة الهامدة.

ما هي الحياة؟ من الصعب على عالِم الأحياء الإجابة على هذا السؤال ببضع كلمات. قلّما يسهل إيجاد تحديد للحياة التي ظهرت على الأرض قبل أكثر من 3,5 مليار سنة، بسبب عدم وجود حدود دقيقة بين الأحياء والمادة غير الحية. لكن العلماء يسعون، والحالة هذه، إلى تحديد ما يميّز الكائن الحي. فهذا الأخير يتميز عن المادة غير الحيّة بوجود عمليتين أساسيتين: الاستقلاب (أو التحوّل الغذائي) والتوالد.

يصنع الكائن الحي موادَّ ويتلفها. لأجل هذا، يقوم بإنتاج الطاقة واستهلاكها بفضل مجموعة من التفاعلات الكيماوية. وحتى يتمكن من الحفاظ على هذا التحوّل الغذائي، يستمد كل كائن حي الطاقة من بيئته. فالنباتات والطحالب الخضراء تتلقى هذه الطاقة من الشمس

يولّد التكاثر التجديد الذي يشكّل قاعدة تطوّر الكائنات الحيّة.

ومن تحوّلات المواد الغازية أو المعدنية البسيطة. لذلك تعرف بالأحياء ذاتية التغذية. في المقابل، يتوجب على الحيوانات أن تقتات من مواد معقّدة سبق أن تحوّلت أو من كائنات حيّة أخرى: وهي تعرف بالأحياء عضوية التغذية.

أما الميزة الأساسية الثانية للكائنات الحية، فهي القدرة على التوالد. سواء أكان التوالد جنسياً أو لا، فإنه قبل كل شيء وسيلة تكاثر تترافق مع تغيرات مع مرور الزمن. إن ظهور هذه التغيرات هو نتيجة رئيسية للتوالد الجنسي: فسمات وليد ما تنتج عن مزيج دقيق وعشوائي لسمات أبوية. حتى مع التوالد اللاجنسي (أي بدون علاقة جنسية)، فإن النسخ المطابق لا يكون تاماً أبداً.

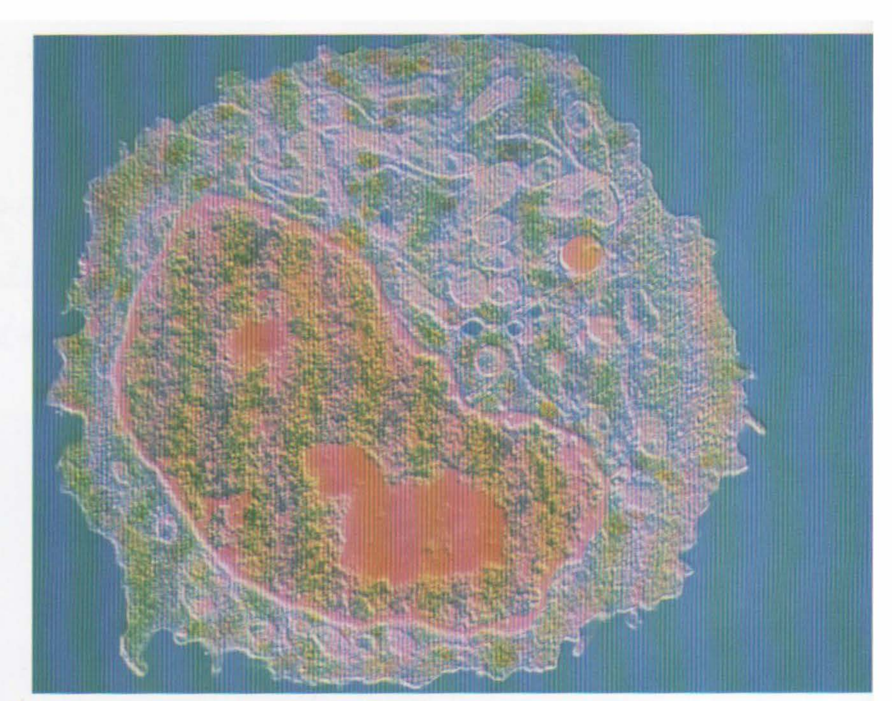
تؤدي أخطاء النسخ إلى تغيرات طفيفة في الكائن الوليد.

تشكّل هذه التغيرات الصغيرة المتتابعة أسس التطور. يكون بعض الفروع الذين يتمتعون بسمات جديدة متكيفين مع بيئتهم بشكل أفضل من البعض الآخر. وكونهم أكثر قدرة على الاستمرار في هذه البيئة، فإنهم سيتمكنون بسهولة أكبر من التوالد ونقل هذه الصفات الجديدة إلى نسلهم. مع مرور الزمن، تتحول الأجناس وتتكيّف مع بيئة، هي الأخرى في تغير مستمر. يشير هذا الأمر إلى الروابط الوثيقة التي ينسجها الفرد مع محيطه ومع بقية الأفراد من جنسه، وكذلك مع الآلاف من الأجناس الأخرى. تندمج هذه العلاقات المتعددة في شبكة ضخمة تُعرف بالنظام البيئي.

تتميز الحياة كذلك بتنظيم معقّد ومتسلسل

عند كل مستوى يبلغه الكائن الحيّ، تظهر خصائص جديدة.

لا تمثل كتلة مجموعة الكائنات الحية إلا جزءاً من عشرة مليارات من كتلة الأرض. تشكّل كتلة الحياة الرقيقة هذه المحيط الحيوي، الذي يتوزع بشكل مبعثر على سطح الكرة الأرضية بسماكة كيلومتر واحد.



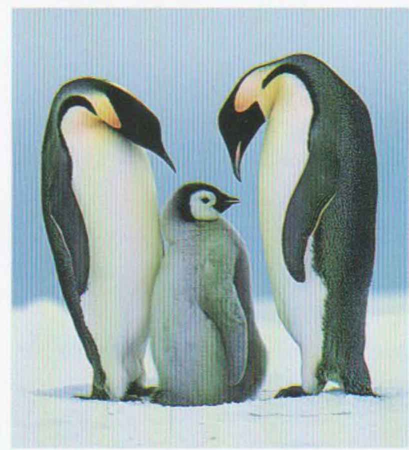
الخلية هي الوحدة الأساسية للكائن الحي، وهي البنية الأصغر التي تتمتع باستقلالية وبقدرة على التوالد. يمكن تمييزها عن بيئتها لأنها محصورة ضمن غشاء يأوي مختلف المكونات. تحتوي هذه الخلية على نواة كبيرة تشكّل مقر الميراث الجيني.

جداً لعناصرها. فالذرّات (وبشكل رئيسي ذرّات الكربون والهيدروجين والأوكسجين والأزوت) تنتظم بشكل جزيئات معقدة: البروتينات، الحوامض النووية، الدهنيات، والسكريات. تتجمع هذه الجزيئات البيولوجية بدورها، لتشكل بنيات وظيفية صغيرة، مثل النواة، داخل مجموعات محدّدة جيداً تُعرف بالخلايا.

تعتبر الخلية أصغر بنية للكائن الحي قادرة على التواجد المستقل وعلى التوالد، إنها إذن الوحدة الأساسية للحياة. تتكوّن بعض الكائنات الحيّة، مثل البكتيريا، من خلية واحدة، لكن بعضها الآخر، مثل النباتات أو الحيوانات، يتكوّن من مجموعة خلايا مختلفة. في هذه الكائنات الحية، تتجمع الخلايا لتشكّل الأنسجة، وتتجمع الأنسجة لتشكّل الأعضاء.

لا يتوقف التنظيم التسلسلي للأحياء عند هذا الحد. فالكائنات الحيّة المنتمية إلى النوع نفسه (أي القادرة على التكاثر فيما بينها)، والتي تعيش في الزمن نفسه وفي المنطقة نفسها، تشكّل مجموعة سكانية. أما المجموعات السكانية المتنوعة التي تتعايش في مجال محدد فإنها تشكّل مجموعة بيئية. تشكّل العلاقات التي تقيمها هذه المجموعة مع العناصر الفيزيائية الموجودة في الوسط، مثل الصخور أو الماء أو الضوء، نظاماً بيئياً. وعلى مقياس كوكب الأرض، تشكّل مجموعة الأنظمة البيئية المحيط الحيوي الذي يجمع إذن كل الأوساط التي توجد فيها الحياة.

كلما ارتقينا في هذا التدرج، تحدث تفاعلات جديدة وتسهّل ظهور خصائص جديدة: وبالتالي فإن الخليّة هي أكثر من مجرد مجموع جزيئاتها، والكائن الحيّ هو أكثر بكثير من مجموع أعضائه. تدل ظاهرة الانبثاق هذه، غير الموجودة في المادة غير الحيّة، على أهمية التنظيم التسلسلي للأحياء. ■



خلال سياق التطور، يكيّف الاصطفاء الطبيعي الكائنات الحية مع بيئتها. تكون هذه الظاهرة ممكنة بفضل التوالد، الذي يسمح للأحياء بالتكاثر أثناء تغيّرها.

تفسير كلمات

- **الاستقلاب** (أو التحول الغذائي أو الأيض) هو مجموعة التفاعلات الكيماوية التي تجري داخل الكائن الحي.
- **الحوامض النووية** هي جزيئات ضخمة تتكوّن من تجمّع أربعة أنواع مختلفة من العناصر التي تعرف بالنويدات، وهي تشكّل دعامة المعلومة الجينية. في حالة الحامض النووي (الديزوكسيريبونوكلييك) ADN ، يحدّد الترتيب الدقيق للنويدات «برنامج» إنتاج لكل البروتينات الضرورية لوظيفة الخلية.

هل تعلم؟

تمكّن باحثون أميركيون من إعادة بكتيريا يبلغ عمرها 40 مليون سنة إلى الحياة. لقد تمّ استخراجها من جسم نحلة محفوظة في قطعة من العنبر منذ العصر الثلثي.

توضيح

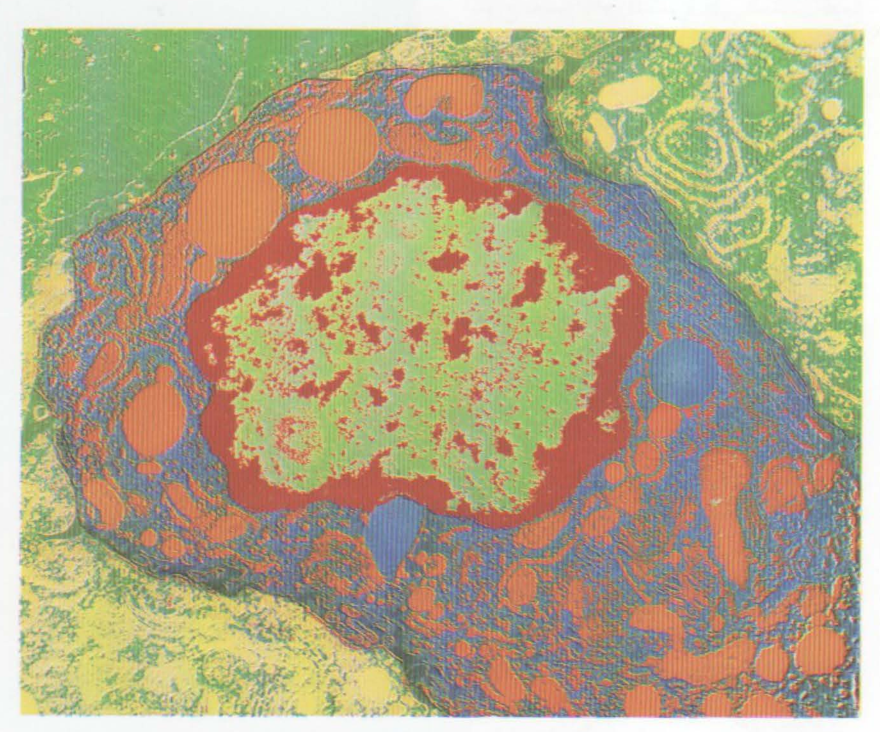
الحامض النووي أو ADN (الحامض الديزوكسيريبونوكلييك) هو الركيزة الحسيّة للبرنامج الجيني: فالجينات التي يحتويها هي في الواقع «برامج إنتاج» لعدد كبير جداً من البروتينات الضرورية لوظيفة الخلية. حاول اختصاصي أميركي في علم الوراثة تحديداً، وضع لائحة تتناول الحد الأدنى من الجينات الضرورية للحياة وذلك «بمعالجة» بعض البكتيريا. في آخر حصيلة له، قدر عدد هذه الجينات بما يتراوح بين 265 و350.



الخليّة

الوحدة الأساسية للكائن الحيّ

سواء أكانت الخلايا بسيطة أو معقّدة، وحيدة أو متعدّدة، فإنها تشكّل اللبنات الأولية المكوّنة للكائنات الحيّة. كمعامل صغيرة ضرورية للأحياء، تمثّل الخلايا مسرحاً لنشاط مكثّف.



تحتوي هذه الخلية الحيوانية على كناسج عديدة، منها نواة كبيرة (بالأخضر والأحمر)، تضم الميراث الجيني بشكل ADN. إن الكناسج الصغيرة، مثل الحبيبات الخيطية التي تمد الخليّة بالطاقة، تؤمن وظيفة الخليّة. يعزل الغشاء البلاسمي الخليّة عن البيئة المحيطة بها.

تحتّل الخليّة، في عالم الأحياء، مكاناً متميزاً. فهي تعتبر أصغر وحدة قادرة على القيام بالنشاطات الخاصة بالحياة: استقلاب أو تحوّل غذائي، توالد ، تكيّف مع البيئة... تتكوّن كل الكائنات الحيّة من خلايا: خليّة واحدة لدى الكائنات الحية وحيدة الخلية، وخلايا متعددة لدى الكائنات الحية المتعددة الخلايا.

في كل الحالات، تظل الخلية هي الوحدة البنيوية والوظيفية الأساسية للكائن الحي، أو لبنة الحياة.

تمكن روبرت هوك للمرة الأولى، عام 1665، من التعرّف على الخلايا ووصفها. لقد تمكّن العالم الإنكليزي بواسطة مجهر يكبّر ثلاثين مرّة من معاينة قشرة شجرة بلوط ولاحظ أنها تتكوّن من تجويفات صغيرة ذات أشكال منتظمة محاطة بحواجز. أطلق عليها تسمية «خلايا». وبعد ذلك بسنوات عديدة، اهتم عالم الطبيعيات الهولندي أنطوان فان لوفنهوك، بقطرات ماء صغيرة مستخرجة من مستنقع. وأثناء تفحصها عبر مجهر من صنعه الشخصي، قادر على تكبير الأشياء حتى 300 مرة، اكتشف بداخلها عالم الأحياء المجهرية وحيدة الخلية. واقتضى الأمر الانتظار حوالى قرنين كي يتمكن عالما الأحياء الألمانيان ماتياس شلايدن وتيودور شوان، من أن يثبتا عام 1839 أن الكائنات الحية تتكوّن كلها من خلايا. وبعد ذلك بعشرين عاماً، تمكّن عالم فيزياء ألماني من الإشارة إلى أن كل خلية تنشأ بالضرورة من خلية أخرى. عندها احتفل بولادة «النظرية الخليوية».

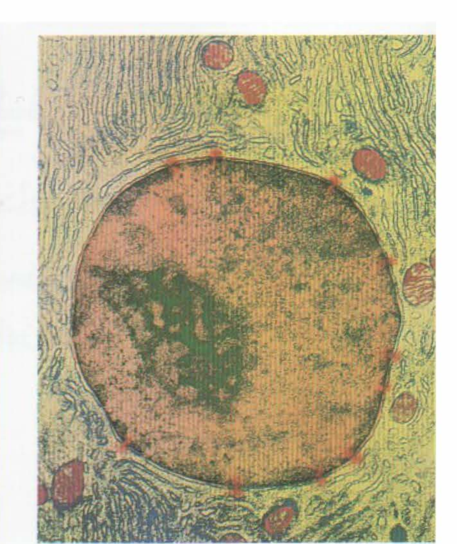
تجمع النظرية الخليوية خلاصة أفكار العصر، وهي توضح بأن «كل الكائنات

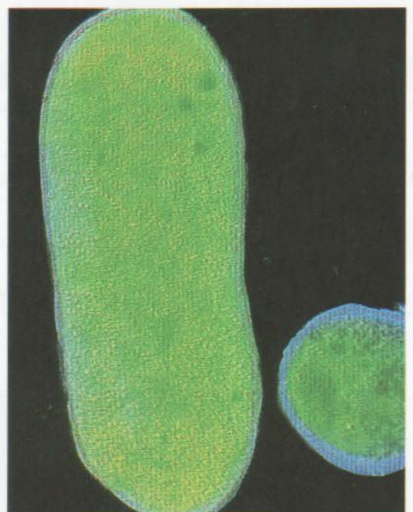
خلال 2 مليار سنة، شكّلت البكتيريا الأشكال الوحيدة للحياة على الأرض.

الحية تتكوّن من خلايا وأن كل الخلايا تأتي من خلايا سابقة الوجود». أثبت هذه النظرية عالم الأحياء المجهرية الفرنسي لويس باستور بين عام 1859 وعام 1861. وهكذا فإن قدرة الخلايا على الانقسام لتشكّل خلايا جديدة تعتبر أساس توالد الكائنات الحيّة ونموها وترميمها.

سمح اكتشاف المجهر الإلكتروني عام 1932 لرجال العلم بالغوص في الحميمية الخليوية. وهكذا أُثبتَ أن الخلية هي مجال مغلق، مفصول عن بيئته بواسطة غشاء يؤمّن التوازن بين البنية ومحيطها. بفضل تكوينه الخاص - مزيج من الدهنيات والبروتينات والسكريات - يقوم هذا الغشاء البلاسمي بعمل رجل الجمرك عند مدخل الخليّة. إنه نفيذ، ولكن بشكل انتقائي، وهو يراقب انتقال المواد بين الوسط الداخلي والخارجي.

كما تمتلك كل خلية جزيئات محضّرة. فالبروتينات تساهم في الآليات الخليوية





تتكوّن الحيوانات المتعدّدة الخلايا جميعها من خلايا ضخمة حقيقية النوى (يمين الصورة) وكناسج متعدّدة، تؤمّن لها وظيفة معقّدة، في حين أن البكتيريا (إلى اليسار) تنحصر في خليّة صغيرة واحدة خالية من الكناسج.

التي تؤمن وظيفة الخلية: إنتاج العناصر البيولوجية، وتحلّلها ونقلها، مراقبة التفاعلات الكيماوية... تمنح الدهنيات الأغشية بنيتها، وتتدخل السكريات خاصة في التعارف بين الخلايا. أخيراً يعتبر الحامض الديزوكسيريبونوكلييك (ADN) الركيزة الحسية للمعلومة الجينية: سواء تعلق الأمر بطحلب بسيط وحيد الخليّة أو بحوت، فإن كل المميزات الخاصة بكائن حي كامل، وكل التعليمات الضرورية للقيام بوظيفته، مسجّلة كلها بشكل رسالة مرمّزة.

وسواء كان الحامض الديزوكسيريبونوكلييك ADN محتجزاً داخل نواة أو لا، بالإمكان التمييز بين نوعين كبيرين من الخلايا: الخلايا طليعية النواة (بدون نواة) والخلايا الحقيقية النواة (مع نواة). إن البكتيريا، التي تتكوّن من خلية وحيدة أوّلية بدون نواة، بدأ تاريخها قبل 3,5 مليار سنة. لقد كانت أوّل كائنات حيّة ظهرت على الأرض، وعاشت في عزلة خلال ملياري سنة. ومن ثم، قام البعض من هذه البكتيريا، الأكثر حجماً، بإيواء بكتيريا أخرى، وفقاً لفرضية المعايشة الباطنية، وذلك «بابتلاعها» دون هضمها، أضحت البكتيريا الصغيرة المبتلعة، رويداً رويداً، حجيرات بسيطة داخل الحجيرات الأكبر. وشكّلت هذه الخلايا المعقّدة ذات النواة أوّل كائنات حيّة ذات نواة. باستثناء البكتيريا، تندرج كل الكائنات الحيّة، المكوّنة من خلية واحدة أو عدة خلايا، ضمن نوع الخلايا ذات النواة.

إذا كانت الخلايا بدون نواة تشبه خلايا صغيرة فارغة تقريباً، فإن الخلايا ذات النواة لها قياس على قدر من الأهمية وهي ملآنة جيداً. إن معظم الحجيرات التي تكونها محصورة في حجيرات مغلقة بغشاء تُعرف بالكناسج، وهي تسبح في مادة هلامية. يشكّل مجموع ذلك هيولى الخلية أو الحشوة. غالباً ما تعتبر النواة كبرج المراقبة للخلية. إنها تحتوي على المعلومة الجينية، بشكل ADN (حامض الديزوكسيريبونوكلييك أو الحامض النووي الريبي منزوع الأوكسجين) الذي ينتظم أحياناً بشكل كروموزومات (صبغيات). البعض منها يمد الخلية بالطاقة، مثل المتقدرات (الحبيبات الخيطية) وجبيلات اليخضور، والبعض الآخر مثل النسيج الشبكي الخاص بالجبلة الباطنية، أو جهاز غولجي، هي أماكن تركيب وتجميع البروتينات والدهنيات والسكريات التي تنتجها الخلية بشكل مستمر. حتى أنه يوجد كذلك مراكز فرز. أخيراً، تتكفّل بعض الكناسج بتخزين الفضلات وتحلّلها، بما أن الخلية تكون مسرحاً لنشاط مكثّف، فغالباً ما تتم مقارنتها بمصنع. ■

هل تعلم؟

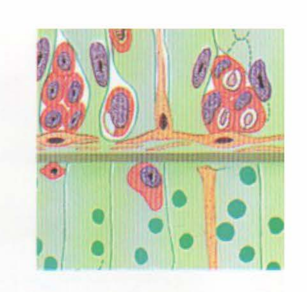
إن الخلايا تنتحر. هذا الموت الخليوي، السريع والكتوم والذي لا علاقة له بنخر الخلايا المريضة، ينتج عن تنشيط بعض الجينات من قبل الخلية نفسها. إنه يمثل إذن آلية الموت الخليوي المبرمج. وبما أنه يسمح، من بين ما يسمح، بإزالة الذنب أو الراحة من بين أصابع الجنين البشري، وبتساقط أوراق الأشجار كل خريف، فإن انتحار الخلايا يساهم تماماً في الحياة، بالرغم من أن ذلك قد يبدو مفارقاً.

أرقام

- يتراوح قياس قطر معظم البكتيريا من 1 إلى 10 ميكرومتر (جزء من ألف من المليمتر)، وتزن من 1 إلى بضعة أجزاء من مليار الميلّيغرام. تعتبر الخلايا ذات النواة، بمعدل وسطي، أكثر ضخامة بعشرة أضعاف من البكتيريا وهي أكثر وزناً من البكتيريا بألف مرة.
- إن «البكتيريا القزمة» (نانوبكتيريا) هي أصغر الخلايا المعروفة، لا يتعدى قطر البعض منها 0,02 ميكرومتر.
- تحتوي الخلية على كمية من جزيئات الأنزيمات تتراوح بين 1 و2 مليار، تنتمي إلى أنواع مختلفة يتراوح عددها بين 000 1 و000 4، وبفضلها تجري عشرات المليارات من التفاعلات الكيماوية كل ثانية.

تفسير كلمات

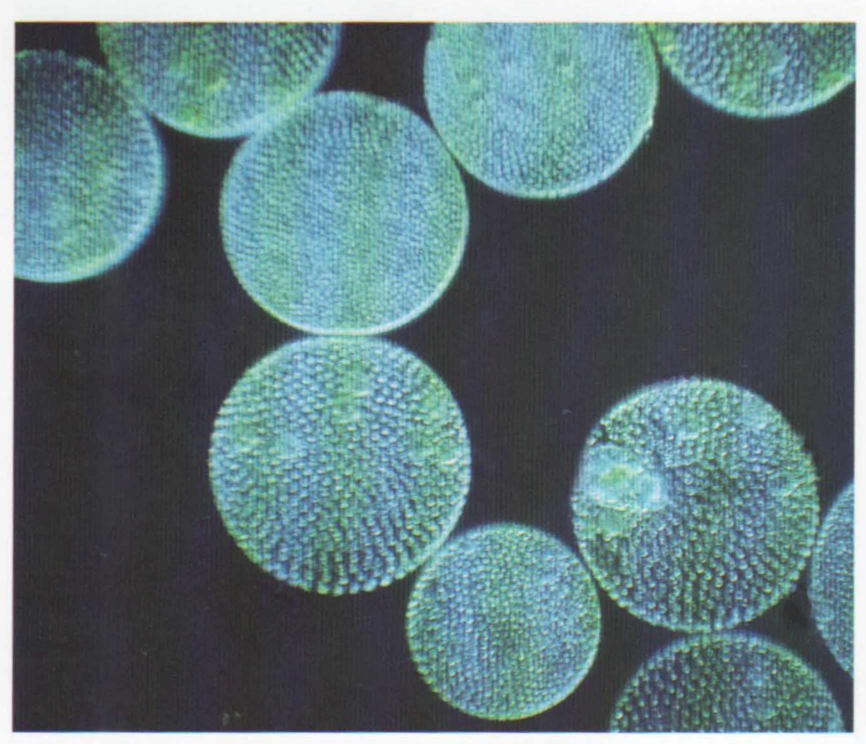
- يعزل **الغشاء البلاسمي** الخلية عن المحيط الموجودة فيه مع ضبطه لمبادلاتها مع الخارج.
- **الكناسج** هي حجيرات في الخلية، مغلقة بواسطة غشاء. إنها «الأعضاء الصغيرة» للخلية.
- **الخلية الطليعية النواة** هي خلية ذات بنية بسيطة جداً، بدون نواة متمايزة، وخالية من الكناسج. البكتيريا هي خلايا طليعية النواة.
- **الخلية الحقيقية النواة** تحتوي على عدة كناسج، من بينها نواة. إن الحيوانات والنباتات وعدة أحياء وحيدة الخلية (خمائر، أميبات...) تتكوّن من خلايا حقيقية النوى.



تجمّعات الخلايا

نحو كائنات حيّة متعدّدة الخلايا

من خلال تجمعها، تمكّنت الخلايا من التكيّف مع بيئات مختلفة. البعض منها ولّد مستعمرات، والبعض الآخر ولّد كائنات حيّة أكثر تعقيداً. ترتسم في قلب هذا التطوّر قصة تعاون ناجح.



تحتوي كل واحدة من هذه المستعمرات الضخمة التي تجمع طحلب فولفوكس أوريس على خلايا مماثلة يتراوح عددها بين 000 20 و000 50، وتنبض سياطها بشكل متناسق. أما في أسفل الصورة، إلى اليمين، فتبدو مستعمرة أم وهي تلد مستعمرة وليدة. تنقسم فيها الخلايا بشكل نشط.

حتى يومنا هذا، ما زالت الكائنات الحيّة التي تتكوّن من خليّة واحدة هي الأكثر عدداً على الأرض. تمثّل هذه الكائنات الوحيدة الخلية أكثر من نصف الكتلة الإحيائية الإجمالية لكوكبنا. انطلاقاً من عدة عناصر مغذية، يتمكن معظمها من إنتاج كل المواد التي هي بحاجة إليها، إنها تتكفّل بنفسها بشكل تام. فهي تتنفس، وتتغذى، وتتنقّل... إضافة إلى ذلك، إنها تتوالد بوتيرة جامحة. البعض منها ينقسم عدة مرات في الساعة. إنها تنجح بتكيفها في استعمار بيئات كثيرة. في هذه الظروف، ما هي المنافع التي استفادت منها بعض الكائنات الوحيدة الخلية بتجمعها لتشكل كائنات متعددة الخلايا، أكبر وأكثر تعقيداً؟ إن التكاتف وتقاسم العمل سمحا لهذه الكائنات باستغلال موارد لا يمكن لأية خلية منعزلة أن تستثمرها جيداً بمفردها.

تتجمع الخلايا المنعزلة لتشكّل مستعمرات، وهي أبسط شكل من أشكال التجمّع. حتى تصل إلى هذه الغاية فإنها توحّد الخلايا المتحدرة منها: بعد كل انقسام، تظل الخلايا الوليدة متجمعة فيما بينها، ولا تكمل انفصالها بشكل تام.

إن هذا السلوك المحدود الانتشار لدى البكتيريا، يحدث بيسر لدى الطحالب الخضراء، يأخذ هذا التجمع لدى الأنواع الأشدّ بساطة، مظهر أسطوانة مقعرة تضم 4، 8، 16، أو 32 خلية متماثلة. لكن المستعمرة التي تستحق المشاهدة أكثر من غيرها هي المستعمرة التي يشكلها طحلب فولفوكس، الذي يضم، في بنية واحدة أكثر من 000 50 خليّة. بفضل النبضات التزامنية لسياط (ألياف متحركة) كل عضو من أعضائها، تتمكن هذه المستعمرة من التحرك. إضافة إلى ذلك، توزع هذه

بإمكان كائنات وحيدة الخليّة أن تتجمع لتشكّل مستعمرة.

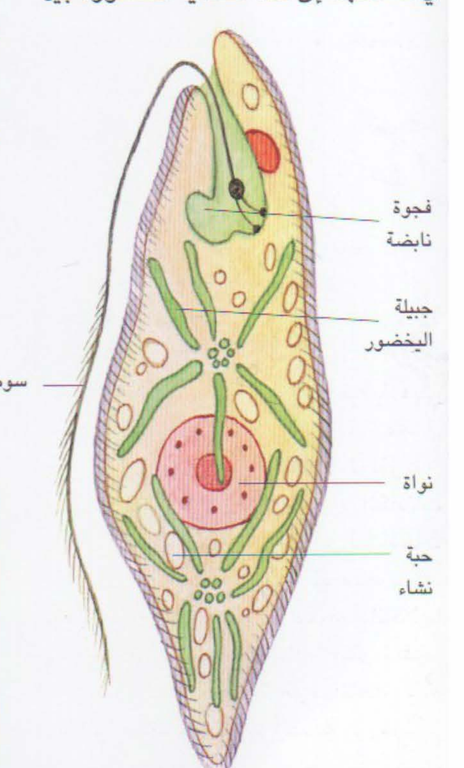
الخلايا المهمات فيما بينها: البعض منها فقط متخصص في التوالد وبإمكانه توليد مستعمرة جديدة. أما بقية الخلايا فهي غير قادرة على العيش في عزلة. بفضل بعض الجوانب، يتمتع طحلب فولفوكس إذن بخاصتين أساسيتين تميزان الكائنات المكوّنة من خلايا عديدة، أو الكائنات المتعددة الخلايا: التكافل والتخصص.

حتى تظل خلايا كائن متعدد الخلايا متّحدة، فإنها تستعمل نظاماً أكثر تعقيداً لا يصنعه أعضاء المستعمرة: تتصل هذه الخلايا فيما بينها بواسطة بروتينات التصاق، موجودة على سطحها، وكذلك بواسطة مشابك جانبية. وهكذا تتمكن من التجمّع بشكل وريقات. إن هذه البنية، التي تعرف بالظهارة هي التي سهلت نمو كائنات معقّدة متعدّدة الخلايا. فالوريقات

إن التخصّص والتعاون بين الخلايا هما مفاتيح التنظيم المتعدّد الخلايا.

الظهارية هي التي تفصل الكائنات الحيوانية عن العالم الخارجي.
إن المدوس، أو المرجان، أو العدار، مثلاً تتكوّن جميعها من طبقتين من الظهارة: الأدمة الباطنية وهي الطبقة المتجهة نحو الداخل، والطبقة الظاهرة الموجودة في الخارج. تغلّف الأدمة الباطنية تجويفاً يتم فيه هضم الطعام، وهي تعزل الوسط الداخلي حتى لا تتبعثر الأطعمة التي أدخلها الحيوان إلى معدته. أما خلايا الطبقة الظاهرة فهي تتخصص بالمبادلات مع العالم الخارجي. تمتلك هذه الحيوانات كذلك خلايا عصبية، تتدخل بشكل خاص في تنقلاتها. إن هذه الخلايا المحشورة بين وريقتين، موضوعة في مجال محكم الإغلاق ومعزول عن الخارج. إن ثبات هذه البيئة ضروري لإتمام وظائف الخلايا. بغية تجنّب قيام هذه الخلايا المتخصّصة بأعمال متناقضة في الوقت نفسه، فإنها تتفاعل وتتصل فيما بينها، مما يضمن تماسك الكائن بكامله.

لكن كيف تتمكّن خلية واحدة، الخلية البيضة، من ولادة خلايا مختلفة إلى هذا الحد مثل الخلايا العصبية، أو العضلية أو الهضمية؟ إن مفتاح هذا التخصص المندفع يكمن في قلب الخلية، أي في نواتها التي تحتوي على الجينات. وإذا كانت معظم خلايا كائن حي تمتلك كل المعلومة الجينية الموجودة في الخلية البيضة، فإنها لا تعبّر كلّها عن كل هذه الإمكانيات. هكذا، فإن خلية عضلة لا تعبّر إلا عن الجينات الضرورية لنموها ووظيفتها. كل الجينات الأخرى - أي تلك التي تحكم إنتاج خلية الكبد أو خلية الشعر مثلاً - هي «منطفئة». وإنه استجابة لإشارات خارجية وداخلية معاً، يتم تنشيط بعض مجموعات الجينات أو كبحها. إن هذا التخصص الخليوي هو إذن نتيجة تعبير الجينات. ■



إن الخلية الوحيدة لهذا الحيوان الذي ينتمي إلى البرزويات (حيوانات وحيدة الخليّة) هي شديدة التعقيد، لأنه ينبغي على هذا الكائن أيضاً أن يتمكّن من التنفّس، وتناول الغذاء والتنقّل والتوالد.

هل تعلم؟

إذا كان الكائن الحيّ، يتكوّن من خلية واحدة أو من تجمّع خلايا، فإن «الكائن الحي الخارق» يتكوّن من عدّة كائنات حيّة. إن تخصص كيانات الكائن الحي الخارق وتعاونها فيما بينها هما ضروريان كذلك لتأمين القيام بالوظائف. على سبيل المثال قرية النمل حيث يصل توزيع المهمات وتخصص النمل إلى مستويات بالغة التطرف.



يتكوّن العدار من وريقتين ظهاريتين تفصل بينهما طبقة هلامية تعرف بالمضغة الوسطية.

أرقام

- تضم مستعمرات الطحالب، بشكل عام، من 8 إلى 32 خلية، في حين أن مستعمرة طحالب فولفوكس تضم من 20 000 إلى 50 000.
- يمكن أن يتكوّن حيوان أو نبات من عدة مليارات من الخلايا. يمتلك الإنسان حوالى مئة ألف مليار خلية.
- يضم حيوان ينتمي إلى الفقريات أكثر من 200 نوع مختلف من الخلايا، يجمع كل واحد منها عدداً كبيراً من التشكيلات ذات الاختلافات الأكثر دقة.

تفسير كلمات

- يتكون **الكائن الحي الوحيد الخليّة** من خلية واحدة في حين أن **الكائن الحي المتعدد الخلايا** يضم خلايا عديدة.
- **المستعمرة** هي مجموعة كائنات حيّة وحيدة الخلية متصلة فيما بينها.
- **الظهارة** هي وريقة تضم عدة خلايا متّصلة فيما بينها بواسطة مشابك جانبية.



صورة مكبّرة للخليّة

معمل مصغّر

تخضع خلايا النباتات والحيوانات كلها لنفس المخطط العام التنظيمي. فهي تشكّل مجالاً مغلقاً هو الحشوة أو هيولى الخلية، محصوراً ضمن غشاء يؤمّن التوازن بين وسط الخلية الداخلية وبيئتها. تحتوي حشوة الخلية على مادة هلامية تُعرف بالسيتوسول تسبح فيها عناصر صغيرة لها أشكال ووظائف متنوّعة، تُعرف بالكناسج. تسمح هذه الأخيرة بإنجاز كل المهام اللازمة لبقائها.

النواة هي الكنسج الرئيسي. وهي تحتوي على مواد الوراثة بشكل جزيئات طويلة

السيتوبلاسم أو الحشوة

الغشاء الخليوي

النواة: الغلاف النووي، مسام نووية، منّة (نواة ذرة رئيسية)

مُرَيْكز (أنابيب دقيقة)

ريباسة أو ريبوزوم

جهاز غولجي

حبيبات خيطية (هُنية الجبلة) ـ مقطع

الشبكة البلاسمية الداخلية

الخلية الحيوانية

وعديدة ومتشابكة من حامض الديزوكسيريبونوكلييك (ADN). في بعض مراحل حياة الخلية، تتكاثف جزيئات الـ ADN لتشكل كروموزومات أو صبغيات. وفي الفترة الباقية يبدو الـ ADN بشكل كدس منتشر يُعرف بالصبغين. تؤمن الكناسج الأخرى الوظائف المتعدّدة للخلية. تعطي هنيات الجبلة الطاقة اللازمة للتفاعلات الكيماوية. تُعِدّ شبكة الجبلة الباطنية وجهاز غولجي المواد وتعززها وتخزنها وترسلها. أما اليحلول (الليزوزوم) فإنه يحلل الفضلات. تحتوي الخلايا النباتية على كناسج إضافية، تُعرف بجبيلات اليخضور وهي تسمح لها بتأمين التركيب الضوئي.

تمتلك الخلية كذلك هيكلاً من البروتينات (هيكل خليوي)، يمنحها الصلابة وسهولة الحركة. يقوم هذا الهيكل كذلك مقام «شبكة سكك حديدية» لوصل الكناسج فيما بينها ومع الغشاء البلاسمي حيث تتحرّك عليه حويصلات صغيرة. يكون هذا الهيكل الخليوي، لدى الخلايا النباتية، مبطّناً بجدار سميك خارج الغشاء، يسمح بتقوية إضافية للصلابة الخليوية. ■

فجوة
جدار سلولوزي
غشاء خليوي
جبيلة اليخضور
نواة: مسام نووية / منّة (نواة / ذرية رئيسية)
جهاز غولجي
ريباسة أو ريبوزوم
الشبكة البلاسمية الداخلية
حبيبات خيطية (هُنية الجبلة) - مقطع
السيتوبلاسم أو الحشوة
أنبوب دقيق

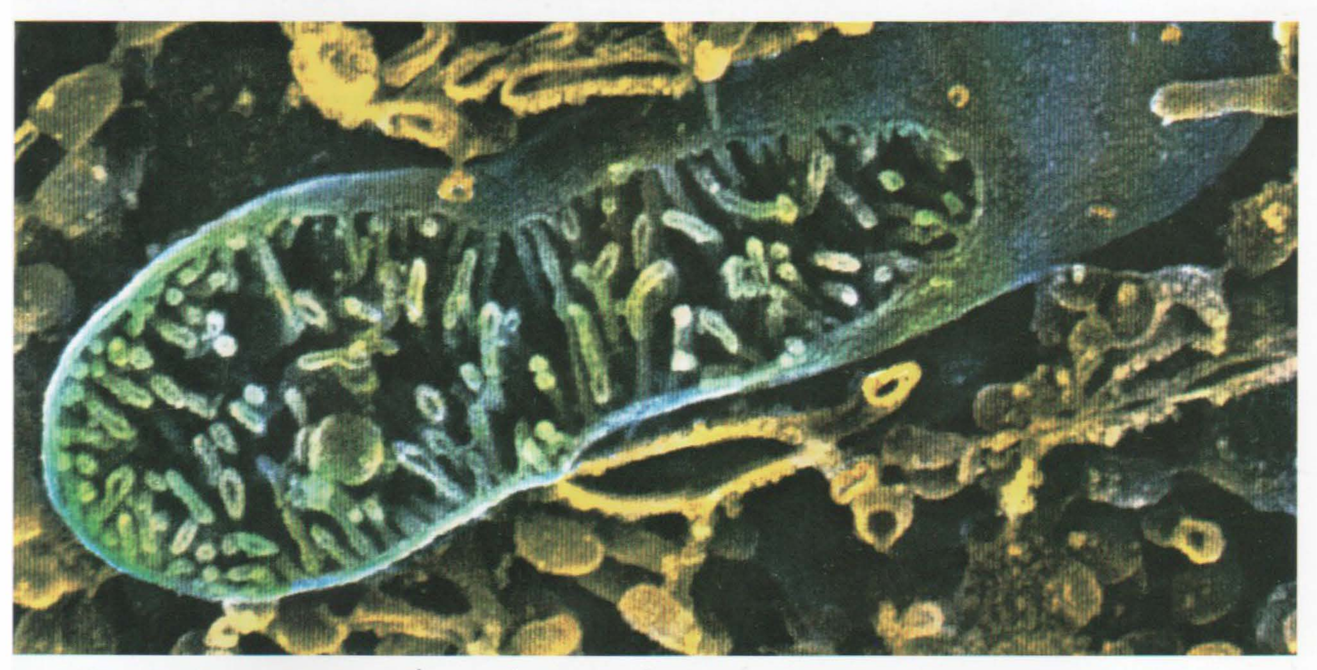
الخلية النباتية



الطاقة في الخليّة

الخلايا تتنفس

تحتاج كل خليّة إلى طاقة لتقوم بوظيفتها. وهي تستمدّها من غذائها، وتستخرج منه الطاقة وتحوّلها، بشكل أساسي بفضل التنفس، إلى «عملة طاقوية» كونية: ATP أو أدينوزين ثلاثي فوسفات.



الحبيبات الخيطية أو هنيات الجبلة هي كناسج خليوية صغيرة، يبلغ طولها 1,5 جزءاً من الألف من الملّيمتر، وهي تُعتبر بحق مراكز توليد طاقة في الخلية. بفضل ثنيات أغشيتها وطيّاتها، تمدّ الخليّة بجزيئات طاقوية كونية.

إن الخليّة بحاجة إلى طاقة لتكبر وتتوالد، لتنتج جزيئات جديدة وتستبدلها عندما تصبح مستهلكة. إذا كانت غالبية الخلايا النباتية مجهزة لتمثيل الطاقة الشمسية (إنه التركيب الضوئي)، فإن كل الخلايا الباقية تستخرج الطاقة من غذائها بعد أن تحولها إلى عناصر مغذية (غلوكوز، حوامض أمينية، ... إلخ) بفضل الهضم. بوجود الأوكسجين الغازي، بإمكان كائن حي، يستخرج الطاقة من العناصر المغذية بإجراء التنفس الخليوي. في غياب الغاز الثمين، يستمد هذا الكائن الحي موارده من التخمّر، إلا أن التنفس الخليوي هو السبيل الأكثر انتشاراً، والأكثر فعالية بشكل خاص، للحصول على الطاقة.

مهما كان السبيل المتبع، تنفّس أو تخمّر، فإن الهدف هو نفسه دائماً: تحويل الطاقة الكيماوية الكامنة الموجودة في العناصر المغذية إلى جزيئة طاقوية كونيّة تعرف بـ ATP أو أدينوزين ثلاثي فوسفات. تقوم هذه الجزيئة بحصر الطاقة المنبعثة خلال عملية تدهور عنصر مغذي. وعلى العكس، باستهلاكها ATP، تسترجع الخلية الطاقة التي هي بحاجة إليها لإنتاج جزيئات. وهكذا يشكل الـ ATP إذا صحّ القول، عملة تبادل طاقوي.

الحبيبات الخيطية أو هنيات الجبلة هي «مركز توليد الطاقة» في الخليّة.

تمتلك الخلية كميات احتياطية ضعيفة جداً من الـ ATP: لذلك يتوجب عليها أن تنتج منها باستمرار. وهي تحصل على ذلك، انطلاقاً من «وقودها» المفضّل: الغلوكوز. خلال التفاعل الذي يحمل اسم غليكوليز (أو تدهور الغلوكوز)، تقسم الخليّة جزيئة الغلوكوز إلى جزيئتين من حامض البيروفيك. تسمح الطاقة المستمدة من هذا التدهور للخلية بإنتاج جزيئتين من ATP. إن معظم الكائنات الحيّة، حتى الأكثر بدائية، تمارس الغليكوليز. لكن المردود الطاقوي ضعيف: في الحصيلة النهائية، يتم استخراج 2% فقط من الطاقة الموجودة من الغلوكوز وتحويلها إلى ATP. لزيادة هذا المردود، تمتلك الخليّة «معامل» صغيرة تستعمل أوكسجين الهواء لتقوم بوظيفتها: إنها الحبيبات

الخيطية (أو هنيات الجبلة أو المتقدرات). إن هنية الجبلة، التي يمكن مقارنتها بـ«معمل إنتاج طاقة» مصغّر، هي المكان الذي يجري فيه التنفّس الخليوي. فهي تلتقف حامض البيروفيك، أو فضلة الغلوكوز، وتحوّله بوجود الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون والماء. وهكذا تنجح الخلية بأن تستخرج من كل جزيئة متدهورة من حامض البيروفيك، الطاقة الكافية لإنتاج 18 ATP إضافية. إن مبدأ التنفّس الخليوي يشبه إلى حد ما مبدأ احتراق الوقود في المحرّك: فحامض البيروفيك هو الوقود، وثاني أوكسيد الكربون والماء هما المواد المنبعثة، والطاقة الناتجة عن الاحتراق تتحوّل إلى ATP.

تتمتع هنية الجبلة من أجل هذا بهيئة متكيّفة تماماً. فهي محصورة ضمن غشاءين. الأول، خارجي، يعطيها شكلها الأسطواني، والثاني، داخلي، كثير الثنيات، بشكل أعراف تغوص في تجويف مركزي مليء بهلام غني بالأنزيمات يعرف بالرحم. إن الغشاء الداخلي مغشّى تماماً بالبروتينات. البعض منها يشكّل مجموعة تُعرف بالسلسلة التنفسية، والبعض الآخر هو أنزيمات متخصصة في تركيب الـ ATP.

يجري التنفّس الخليوي على مرحلتين، الأولى تتم في الرحم: سلسلة من التفاعلات الكيماوية، يُعرف مجموعها بـ«دورة كرابس» (وهو اسم عالم الكيمياء الحياتية الألمانية الذي تعرّف عليها) تسمح بتدهور حامض البيروفيك بشكل تام إلى ثاني أوكسيد الكربون. خلال هذه التفاعلات، يتم انتزاع ذرّات هيدروجين (بشكل بروتون أي جسيمات مشحونة كهربائياً) من الجزيئة. هنا تبدأ المرحلة الثانية من التنفّس الخليوي الذي يحدث في الغشاء الداخلي لهنية الجبلة، على مستوى السلسلة التنفسية. تضخ بروتونات من الرحم لتتجمّع في المجال الواقع بين الغشاءين لهنية الجبلة. لا يمكن لهذه الكمية الضخمة من البروتونات أن تعود إلى الرحم إلا عبر السكور المفتوحة في سد. تحرك الطاقة الناتجة عن هذا التيار القوي من البروتونات مجموعات مكوّنة من أنزيمات، تقوم بوظيفة مشابهة لوظيفة العنفة (التوربين)، وتنتج الـ ATP. بعد الاستعمال، يجب حكماً إبطال مفعول البروتونات: فهي تجعل الوسط حمضياً لدرجة أن هنية الجبلة تتوقف سريعاً عن العمل، مما يؤدي إلى موت الخلية. لذلك تتحد البروتونات مع الأوكسجين لتشكيل جزيئة غير ضارة هي الماء. ■

هل تعلم؟

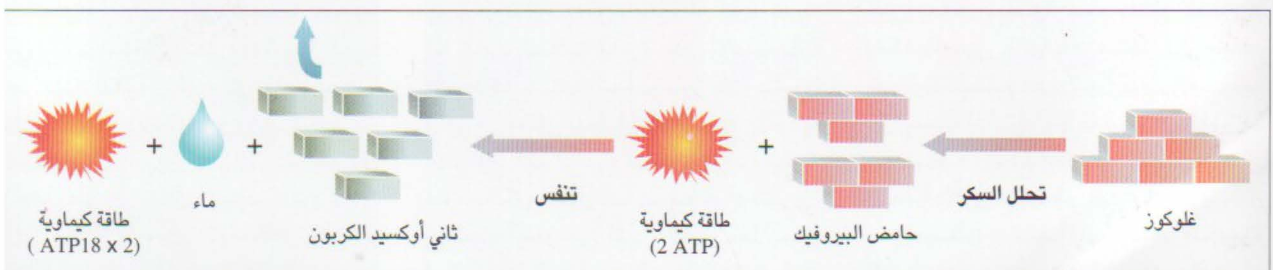
تحتوي كل هنية الجبلة على ADN. وإذا كان الـ ADN الموجود في نواة خلية متحدراً من مزيج من الميراث الجيني العائد للأبوين، فإن الـ ADN الموجود في هنية الجبلة يكون بنسبة 100% تقريباً ذا مصدر أمومي. يقوم رجال علم بتحليله لإعادة رسم تاريخ أجداد الأفراد من جهة الأم.

أرقام

- تبعاً لنوع الخلية المعنية، يتراوح عدد الحبيبات الخيطية من واحدة إلى عدة آلاف. تحتوي خلية كبد بشري على عدد يتراوح ما بين 1 000 و2 000، وهي تحتل خمس الحجم الخليوي.
- من أجل القيام بنشاطها، تستهلك الخلية عدة ملايين من جزيئات ATP في الثانية. وبما أن احتياطيها لا يكفي لتأدية وظيفتها إلا لبضع ثوان، فإنها مضطرة إذن لإنتاج كميات كبيرة من هذه الجزيئات بشكل مستمر.
- إن الطاقة الإجمالية الضرورية للقيام بوظائف كل خلايا جسم الإنسان في حالة سكون، تعادل الطاقة اللازمة لمصباح قدرته 100 واط.

تفسير كلمات

- **ATP** أو أدينوزين ثلاثي فوسفات، هي الجزيئة التي تحتوي على الطاقة الصالحة لإجراء تفاعلات كل الخلايا.
- **الغليكوليز** هو تحلّل الغلوكوز، وهو تفاعل ينتج الـ ATP.
- **البروتون** هي ذرات هيدروجين فقدت إلكترونها. إنها جسيمات مشحونة كهربائياً.
- **التنفّس الخليوي** هو مجموعة تفاعلات كيماوية تمتّ بصلة إلى الاحتراق: تتدهور جزيئات بحضور الأوكسجين، وتستخدم الخلية كمية الطاقة الضخمة التي يطلقها هذا التفاعل لإنتاج الـ ATP.



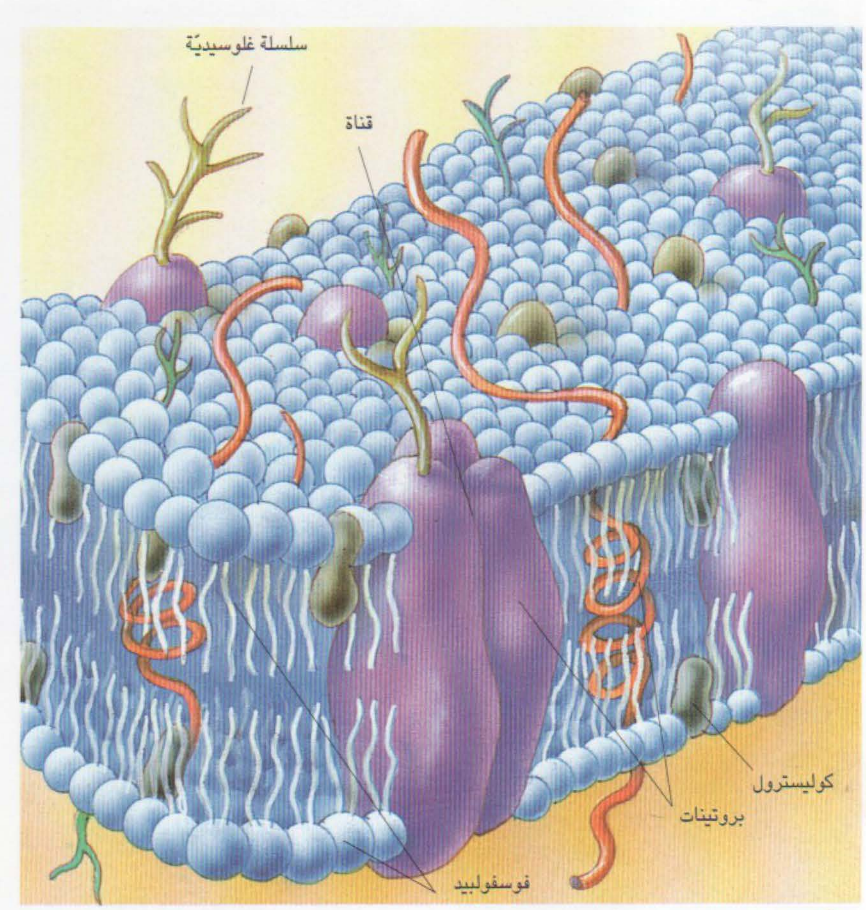
تستمد الخلية القسم الأساسي من طاقتها من تفاعلين: الغليكوليز الذي يحوّل الغلوكوز إلى جزيئتين من حامض البيروفيك، والتنفس الخليوي، الذي يحوّل حامض البيروفيك إلى ثاني أوكسيد الكربون وجزيئات من ATP، أو الطاقة الكونية.



الحوارات الخليوية

الاتصال بين الخلايا

يصفّي الغشاء الذي يشكّل حدود الخليّة كل المعلومات التي تدخل إليها أو تخرج منها. وهو يجيز كذلك إقامة حوار حقيقي بين الخلايا. إنها وسيلة تسمح للخلايا بتكييف ردود فعلها على البيئة المحيطة بها.



يشكّل الغشاء البلاسمي حدوداً بين داخل الخلية وخارجها، وهو يحتوي على دهنيات تقاوم حركة معظم الجزيئات القابلة للذوبان في الماء. أما البروتينات الكثيرة التي تجتاز الغشاء، فإنها تسمح للخلية بالتواصل مع البيئة المحيطة بها.

يتكوّن الغشاء بشكل رئيسي من طبقة مزدوجة من الدهنيات. من المعروف أن الشحوم «تكره» الماء (يقال عنها أنها نفورة من الماء). يشكل الغشاء إذن حاجزاً أمام معظم الجزيئات القابلة للذوبان في الماء. غير أن بعض الجزيئات الصغيرة جداً تنجح في اجتياز هذا الحاجز بالانتشار بشكل مائل. يعود هذا الانتشار السلبي (أو المنفعل) إلى النزعة الطبيعية التي تجعل المواد تنتشر بشكل منتظم في مجال ما. فإذا كانت هذه الجزيئات الصغيرة أكثر عدداً خارج الخلية، فإنها تعبر نحو الداخل من أجل إقامة كثافة متعادلة على جهتي الغشاء والعكس بالعكس.

بغية تسريع هذا الانتقال، يمتلك الغشاء كذلك وسائل نقل نوعية هي البروتينات، تعبره من جهة إلى أخرى. البعض من هذه البروتينات يتضمن قناة تشبه النفق، والبعض الآخر منها يرتبط بالجزيئات التي ينقلها ويحملها بشكل محسوس إلى الجهة الأخرى من الغشاء. هذا ما يُعرف بالانتشار الميسّر. أخيراً توجد آلية نقل «معاكسة للتيار»، تُعرف بالنقل الفعّال. وبما أن البروتينات الناقلة تقاوم حركة الانتشار الطبيعية، فإنها تستهلك الطاقة. لكن الجزيئات الضخمة مثل البروتينات، التي يعادل حجمها حجم الناقل نفسه لا يمكنها عبور الغشاء. هكذا، فإن معظم الخلايا تبتلع هذه الجزيئات الضخمة بواسطة الالتقام الخليوي أو تفرزها بواسطة الالتقاظ أي التسرّب. خلال الحالة الأولى، يتقعّر الغشاء ثم يشكّل حويصلات تغلف الجزيئات الكبيرة الحجم. وبعد ذلك تنفصل هذه الحويصلات عن الغشاء لتلتحق بحجيرات

بغية تنسيق أعمالها، تقوم الخلايا المتعدّدة التي تكوّن الكائن الحي بالاتصال فيما بينها. لهذه الغاية، تكون كل خلية مجهّزة بآليات لترجمة الإشارات، وهي عبارة عن مجموعات من البروتينات التي تسمح لها بالإجابة على الرسائل الصادرة من خلايا أخرى. وبشكل أشمل، سواء أكان مصدره خلية أخرى أو أي اختلاف في المحيط الخارجي، يُشكّل كل تغيير في البيئة المحيطة

بخليّة، إشارة يمكن للخليّة أن ترد عليها. إذا كانت الخلايا قادرة على الاستجابة لمحيطها، فذلك لأنها تتميّز عنه بشكل واضح. يمتاز الغشاء البلاسمي بنفوذية انتقائية. فهو يسمح لبعض المواد بالنفوذ عبره بشكل أسهل مما يسمح لمواد أخرى، وباتجاه أيسر من اتجاه آخر، مما يجعل امتصاص العناصر الغذائية وتصريف الفضلات ممكناً.

كي تتصل فيما بينها، ترسل الخلايا جزيئات حاملة رسائل.

أخرى واقعة بين الخلايا. في الاتجاه المعاكس، تتغلف المواد الكبيرة الحجم التي تريد الخلية طرحها في حويصلات طرح تلتحق بالغشاء البلاسمي وتذوب فيه بغية صب محتواها إلى الخارج: إنه الالتقاط أي التسرّب.

بواسطة آليات متشابهة، تفرز بعض الخلايا جزيئات حاملة رسائل بغية الاتصال بخلايا أخرى. لتبادل المعلومات مع جاراتها القريبة، تلجأ الخلايا المُرسلة إلى الاتصال الباراكريني. في هذه الحالة، تصب المراسيل الكيماوية بكل بساطة إلى خارج الخلية. أما بالنسبة للاتصالات «على مسافات بعيدة» مع خلايا منتشرة في كل أجزاء الكائن الحي، تطلق الخلية هرمونات في المجرى النهري الذي يصل الأعضاء والخلايا، وهو الدم لدى الحيوانات، والنسغ لدى النباتات. يتم هذا الاتصال بالإشارات الباطنية الإفراز.

تجد كل الخلايا نفسها إذن مغمورة بمعلومات متنوعة تنتقل عبر الكائن الحي.

تفسير كلمات

- يحيط **الغشاء البلاسمي** بالخلية ويعزلها عن البيئة المحيطة بها. تسمح نفوذيته الانتقائية لبعض العناصر بالمرور عبره وتجعله غير نافذ للعناصر الأخرى.
- **الالتقام الخليوي** هو ظاهرة تقوم الخلية فيها بنقل جزيئات مرصوصة في حويصلات غشائية، من الخارج نحو الداخل. أما **الالتقاط** (التسرّب) فإنه يمثل الحركة المعاكسة.
- تسمح **الإشارات الباطنية الإفراز** للخلايا البعيدة بالتواصل عبر الدم بفضل الهرمونات. أما الإشارات الباراكرنية، فهي نمط الاتصال بين الخلايا المتجاورة.

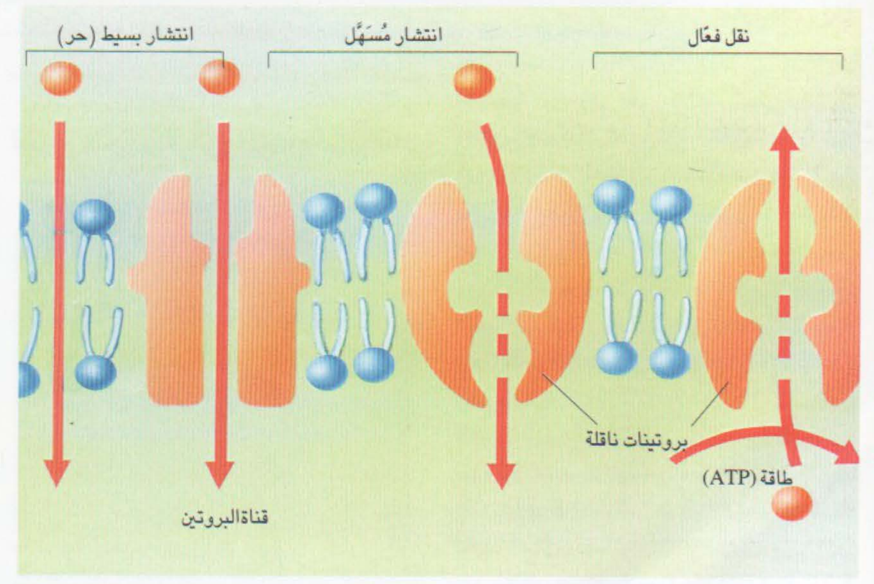
بغية فرز هذه الرسائل وعدم الإجابة إلا على الرسائل الموجهة إليها، تتجهز كل خلية بمتلقيات معينة، موجودة في أغلب الأحيان على سطح الخلية. على غرار المفتاح الذي ينزلق في المزلاج، تندمج الخلية - المرسال بشكل تام في المتلقي. ينشّط هذا الارتباط المتلقي الذي يولّد سلسلة من التفاعلات داخل الخلية، مما يؤدي إلى تغيير سلوكها.

في أغلب الأحيان، لا يجتاز المرسال الغشاء. إنها بروتينات غشائية أخرى مرتبطة بالمتلقي لكنها متجهة نحو داخل الخلية، هي التي تؤمن تحويل رسائل. غير أن بعض الجزيئات التي تحمل رسائل تشذ عن قاعدة العبور هذه. إنها الحال مع الهرمونات الجنسية أو الدرقية التي تعبر الغشاء لتصل إلى المتلقيات الموجودة داخل الخلية.

لدى الكائنات الحيّة المتعدّدة الخلايا، يكون الاتصال بين الخلايا مهماً جداً لدرجة أن هذه الأخيرة تطور باكراً جداً أثناء نموها، خلايا متخصصة فقط في نقل المعطيات. إنها الخلايا العصبية. حتى تتخاطب فيما بينها، تمزج هذه الخلايا الكيمياء بالكهرباء. تقوم مواد كيماوية تُعرف بالمُرسلات العصبية بتنشيط إرسال ذبذبات كهربائية سريعة تُشكّل السائل العصبي. ■

هل تعلم؟

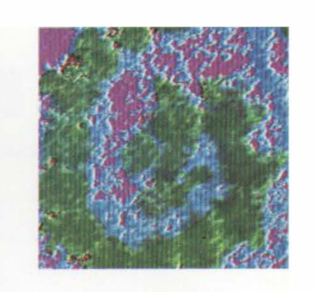
يشبه الغشاء الخليوي، ظاهرياً، سندويتش يتكوّن من طبقتين من الدهنيات تنتظم داخلها بروتينات. لكن الغشاء، في الواقع، هو «فسيفساء مائعة» ذات عناصر غير جامدة إنما في حركة مستمرة.



بغية اجتياز الغشاء، تتمكن الخلايا، وفقاً لحجمها أو وجهة انتشارها، من المرور بحرية أو من الاستعانة ببروتينات ناقلة، تستهلك أحياناً كمية من الطاقة.

أرقام

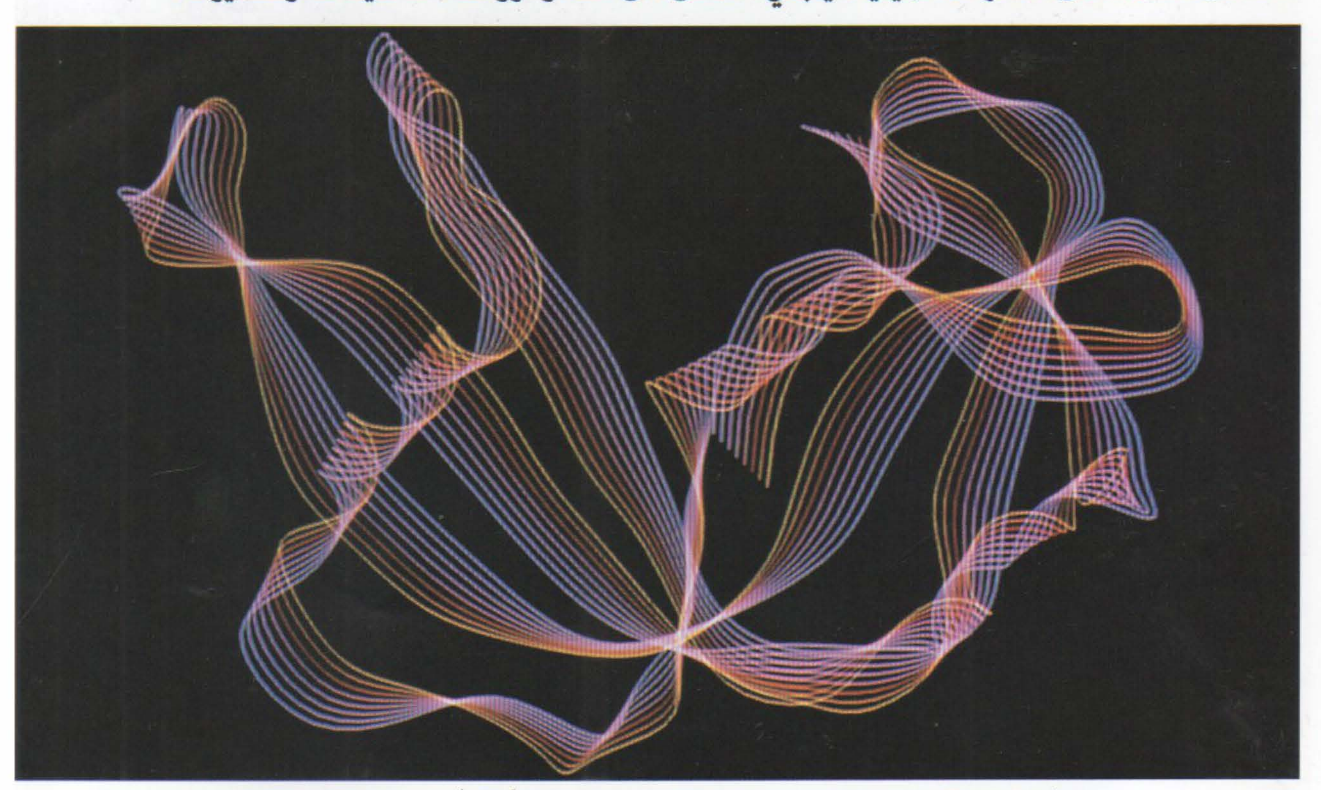
- تتراوح سماكة الغشاء البلاسمي بين 7 و8 أجزاء من المليون بالمليمتر الواحد.
- تمّ إحصاء أكثر من 50 نوعاً من البروتينات المختلفة في غشاء كرية حمراء.
- تتحرك الدهنيات الموجودة في الغشاء بلا توقف: إنها تنحرف جانبياً بسرعة وسطية تبلغ 2 ميكرومتر في الثانية.
- بفضل الانتشار الميسّر، يمكن للغلوكوز أن يدخل في الخلايا بسرعة تفوق 30 مرة سرعته أثناء الانتشار السلبي.



تركيب البروتينات

عندما تتمكّن الجينات من التعبير

تستعمل الخلية لإنتاج بروتيناتها «خطط تركيب» موجودة في ميراثها الجيني. لكن للوصول إلى المنتج الخالص انطلاقاً من المعلومة الجينية، ينبغي التمكّن من فكّ رموز هذه التعليمات وتفسيرها.



يتكوّن كل بروتين من حوامض أمينية مجموعة وراء بعضها البعض على شكل عقد من اللؤلؤ يأخذ شكلاً ملتوياً. يحدّد شكله المكاني وظيفته.

على غرار مصنع حقيقي للإنتاج، يتوجب على الخليّة أن تجدّد مكوّناتها بشكل مستمر. لتحقيق هذه الغاية، ينبغي عليها تجميع مختلف المواد المتحدرة من هضم العناصر المغذية أو من إعادة تدوير منتجاتها القديمة، وفقاً «لتعليمات» برنامجها الجيني المسجّل على جزيئة حامض الديزوكسيريبونوكلييك أو ADN. يتكوّن الـ ADN من سلسلتين طويلتين، موضوعتين رأساً لقدمين، تلتف إحداهما حول الأخرى في شكل حلزوني. كل سلسلة هي عبارة عن جزيئات صغيرة أوليّة متتابعة، تُعرف بالنويدة أو نوكليوتيد. يوجد أربعة أنواع منها. تختلف قليلاً عن بعضها في أحد مكوناتها، وهي تقترن

تقوم الخليّة في البدء بإعداد نسخة مبسّطة عن الجينة، تُعرف بمرسال ARN.

بشكل ثنائي وفقاً لتجمّع ثابت. فالأدينين (الذي يرمز إليه بحرف A) الموجود في نويدة تابعة لسلسلة معينة يواجه دائماً التيمين (T) الموجود في نويدة تابعة لسلسلة أخرى. والشيء نفسه يقال بالنسبة للغوانين (G) الذي لا يقترن إلا مع السيتوزين (C).

إن الـ ADN الذي يعتبر حامل المعلومة الجينية، يحتوي على جينات. حتى ولو أن مفهوم الجينة يتطور مع الاكتشافات، غير أنه بالإمكان القول إن الجينة هي عبارة عن تتابع دقيق لنويدات عديدة، بشكل متتالية، تقوم بإدارة إنتاج جزء من بروتين أو بروتين كامل أو عدة بروتينات. كما أن كل بروتين هو أيضاً تتابع لجزيئات أولية هي الحوامض الأمينية، التي يوجد منها 20 نوعاً مختلفاً. إن ترتيب التسلسل للحوامض الأمينية التابعة لبروتين معيّن يتحدّد دائماً بترتيب النويدات التابعة لخيط الـ ADN. بالنسبة للخليّة، يعني إنتاج بروتين ما إذن «ترجمة» رسالة الجينة، المكتوبة بأبجدية ذات 4 حروف (C, G, T, A) إلى «لغة



تمتلك خلية ADN، بشكل مرمّز، «خطط إنتاج» كل أنواع البروتينات الضرورية لوظائف الكائن الحي.

البروتينات» التي تستعمل أبجدية من 20 حرفاً. للانتقال من أبجدية إلى أخرى، تستخدم الخلية «كلمات» تُعرف بالراموز (أو كودون). الراموز هي متتالية تتألف من 3 نويدات تشير إلى حامض أميني محدّد. يشكل هذا التطابق الصارم بين متواليات مؤلفة من 3 نويدات تابعة لـ ADN وبين الحوامض الأمينية التابعة للبروتين مجموعة رموز كونية، مماثلة لكل الكائنات الحية، هي الرمز الجيني.

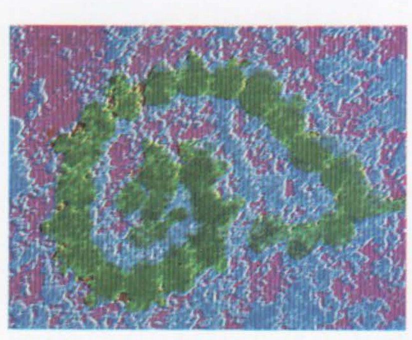
للانتقال من الجينات إلى البروتينات، تعمل الخلية على مرحلتين. يقع مقر الـ ADN في النواة في حين أن تركيب البروتينات يتم في هيولى الخلية أو حشوتها. كما أن الخلية تقوم أولاً بإعداد نسخة مبسطة عن الجينة، تُعرف بمرسال ARN (أو حامض ريبونوكليك أو الحامض النووي الريبي)، بغية نقل المعلومة الجينية من مكان إلى آخر. لا يحتوي هذا المرسال ARN إلا على سلسلة واحدة من النويدات ومع بعض الاختلافات في التفصيل، تعتبر هذه النسخة طبق الأصل عن واحدة من سلسلتي الـ ADN. تُعرف هذه المرحلة الأولى من التركيب بالنسخ. بإمكان مرسال ARN، النسخة المبسطة عن متتالية إحدى سلسلتي الـ ADN، الخروج من النواة.

أرقام

- يبلغ طول الـ ADN لخلية بشرية واحدة، عند بسطه، 1،80م. وهو يحتوي على 3 مليارات زوج من النويدات، التي تتطابق مع أقل بقليل من 000 50 جينة.
- تحتوي خلية الثدييات على عدد بروتينات يتراوح بين 5 و10 مليار بروتين.
- يمكن لبروتين واحد أن يحتوي على عدد من الحوامض الأمينية يتراوح بين مئة وعدة آلاف.

في هيولى الخلية أو حشوتها، يشكّل مرسال ARN إذن خطة إنتاج البروتين. ولكن كيف يمكن تفسير العلاقة بين متتالية النويدات وبين متتالية الحوامض الأمينية، علماً أنه لا يوجد أي تآلف كيماوي بين الاثنتين؟ لتنتقل من الواحدة إلى الأخرى، تستعمل الخلية موفّقات تُعرف بـ ARN الانتقال. يملك هؤلاء «المترجمون المزدوجو اللغة» موقعي تثبيت. الأوّل يتعرّف على راموز تابع لـ ARN، والثاني يحمل الحامض الأميني المطابق لهذا الراموز. وهكذا يتعرّف ARN الانتقال على اللغة الجينية، وفي الوقت نفسه يقوم بترجمتها إلى لغة البروتين.

أما مرحلة الترجمة، أي تجميع البروتين، فإنها تتم داخل جزيئة كبيرة تُعرف بالريباسة، تقوم بالتنسيق بين مختلف العناصر المعنية ومراقبتها: تتراصف ARN الانتقال على جزيئة ARN المرسال، الذي يلعب دور النموذج، وتقدّم الحوامض الأمينية وفقاً للترتيب المناسب.



هذه الريباسات (باللون الأخضر)، المنضدة بشكل لآلئ على خيط غير مرئي، تقوم بترجمة مرسال ARN إلى بروتينات (صورة مكبّرة 000 25 مرة).

هل تعلم؟

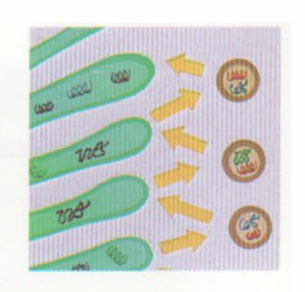
لدى النباتات والحيوانات، تسبح الجينات تماماً في محيط من الـ ADN الخالي من الحواس. أما بالنسبة للإنسان مثلاً، فلا يشكل الجينوم (مجموع الجينات) إلاّ 12% من الـ ADN الإجمالي، و5% فقط منها تتحول فعلياً إلى بروتينات!

تفسير كلمات

- **النسخ**، الذي يعتبر المرحلة الأولى من عملية تركيب البروتينات، هو عبارة عن نقل المعلومة الجينية من ADN إلى ARN. إنه يسمح للمعلومة الجينية بأن تخرج من النواة لتصل إلى هيولى الخلية أو حشوتها.
- **الترجمة**، هي المرحلة الثانية من عملية تركيب البروتينات، وهي تعتبر العملية التي تقوم الخلية من خلالها بتفسير المعلومة الجينية الموجودة في ARN، بلغة البروتينات.
- تتكوّن **البروتينات** من حوامض أمينية يوجد منها حوالى 20 نوعاً مختلفاً.
- تتكوّن **الحوامض النووية** ADN وARN من نويدات موزعة على 4 أنواع مختلفة.

تتحد الحوامض الأمينية عندئذٍ مع بعضها وتُشكّل رويداً رويداً سلسلة: إنه البروتين أثناء مرحلة الإنتاج.

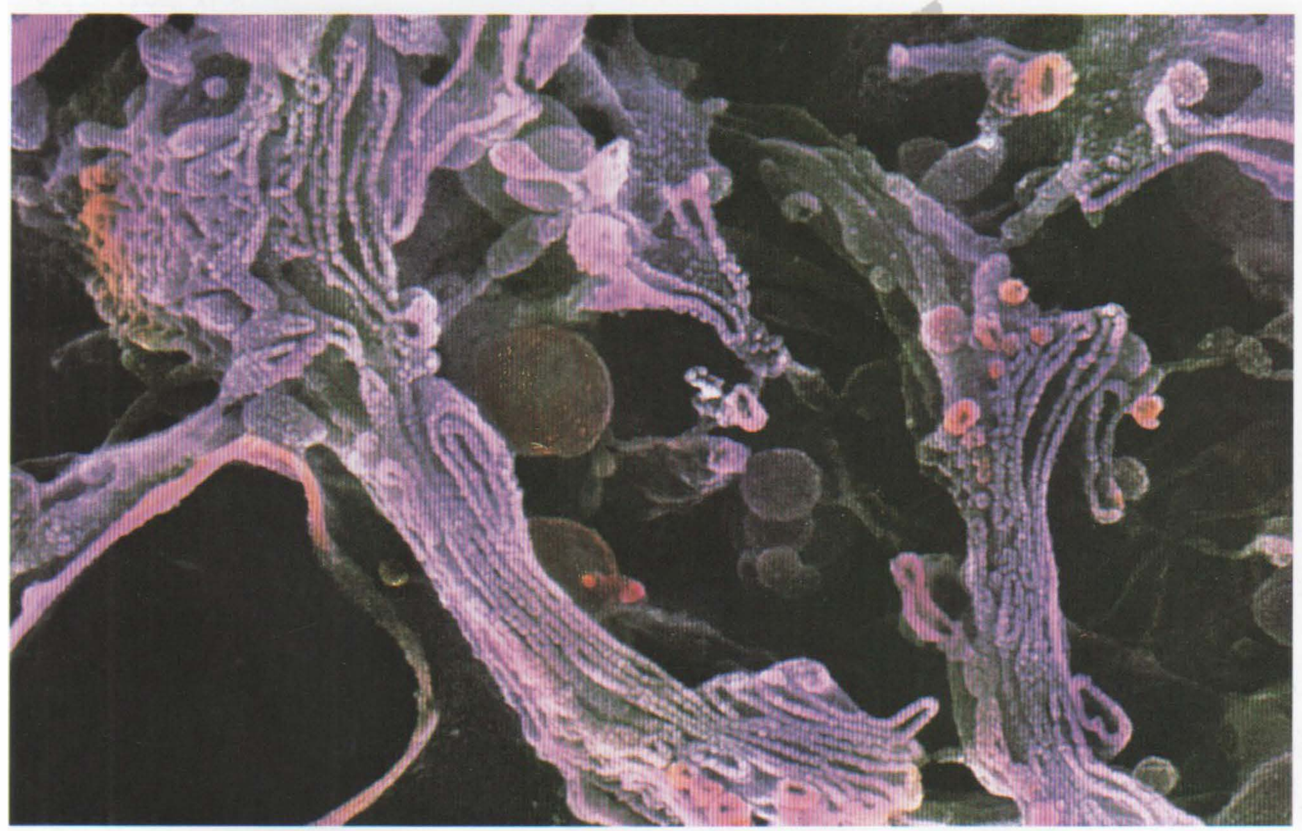
عندما تتم هذه العملية، نادراً ما يكون البروتين جاهزاً للقيام بوظيفته. لأن وظيفة البروتين تتعلق بشكله المكاني (انثناء سلسلة الحوامض الأمينية) وكذلك بمكانه داخل الخليّة. لهذا السبب، تسبق سلسلة الحوامض الأمينية التابعة للبروتين في أغلب الأحيان متتالية إشارة، تشبه «العنوان البريدي» تحدّد الحجرة الخليوية التي ينبغي إرسال السلسلة إليها. قبل الالتحاق بوجهته النهائية، ينبغي أن يخضع البروتين أيضاً إلى مجموعة من عمليات الاكتمال التي تتم في حجيرات خاصة من الخلية، وهي النسيج الشبكي الخاص بالجبلة الباطنية، وجهاز غولجي. ينتهي تركيب البروتينات المجهزة بإشارة على الريباسات الموجودة على الغشاء الخشن للنسيج الشبكي الخاص بالجبلة الباطنية، وهو كنسج خليوي مهمته توجيه البروتينات نحو مقصدها. ■



رحلة البروتينات

حركة مستمرّة داخل الخليّة

لكل بروتين وظيفة يمارسها في مكان محدّد من الخليّة. لكن للوصول إلى هذا المكان، تكون البروتينات مضطرة في أغلب الأحيان، بعد ولادتها، أن تسلك متاهة حقيقيّة.



حتى تتأهل البروتينات للقيام بوظيفتها، فإنها تتحرّك عبر شبكة من الحجيرات الغشائية حيث تخضع فيها إلى عمليات اكتمال صغيرة، كما يبدو هنا في الصورة، داخل كييسات جهاز غولجي.

تنتظر البروتينات الحديثة التكوين داخل الخلية في أغلب الأحيان، رحلة طويلة، وفي نهاية المطاف، تصبح هذه البروتينات «جاهزة للعمل» وترسل إلى مكان عملها. هكذا، فإن بروتيناً متخصصاً في «الاستيراد والتصدير الخليوي» لن يتمكن من العمل بشكل صحيح إذا وضع في مكان آخر غير الحدود الخليوية، أي الغشاء البلاسمي.

تسجّل حركة كثيفة للبروتينات التي ينبغي فرزها وإرسالها. إذا اتبعنا حركة جزيئة من هذه الجزيئات، منذ ولادتها حتى وصولها إلى وجهتها النهائية، نجد أنها

يجري فرز البروتينات وإرسالها إلى العناوين الخاصّة بها.

تسير في متاهة محيّرة مكوّنة من الأغشية الموجودة بين الخلايا.

تخلق هذه الأنظمة حجيرات مغلقة ومعزولة عن بقية أجزاء الخلية، مما يجهزها بأمكنة متخصصة من الناحية الوظيفية تُعرف بالكناسج. تحتوي كل خلية حقيقية النوى على آلاف منها مثل النواة والحبيبات الخيطية أو هنيات الجبلة، جبيلات اليخضور، النسيج الشبكي الخاص بالجبلة الباطنية، جهاز غولجي، حويصلات الإفراز...

يرتبط مصير كل بروتين بطبيعته. في الواقع، يحتوي كل بروتين في أغلب الأحيان على إشارة فرز (بعض الحوامض الأمينية)، تقوده على مسار خاص، يوجد مُستقبِل محدّد موجود على الكنسج المستهدف، قادر على التعرف على هذه الإشارة. فعلى سبيل المثال، يجب على بروتين ضخم يستهدف النواة أن يمتلك

تفسير كلمات

- **الكناسج** هي مجالات متخصصة من الناحية الوظيفية، معزولة عن السيتوسول بواسطة غشاء.
- **النسيج الشبكي** الخاص بالجبلة الباطنية هو كنسج خليوي. يتكوّن من شبكة أغشية، ويؤمن انثناء بروتينات عديدة، ويركّب الدهنيات، ويرسل أغلب هذه الجزيئات نحو جهاز غولجي.
- **جهاز غولجي** هو كنسج خليوي آخر يتكوّن من كييسات مكدّسة. إنه يركّب السكريات ويجمعها مع البروتينات أو الدهنيات ثم يدفع هذه الجزيئات التي انتهت معالجتها نحو وجهتها النهائية.

الإشارة التي تتعرف عليها المستقبلات المقترنة بالمسام النووية، التي تعتبر بوابات الدخول إلى النواة. كل جزيئة وجهتها النهائية النواة، أو هنية الجبلة أو جبيلات اليخضور، تسيّر نحو هذه الوجهة مباشرة بواسطة إشارة الفرز المرتبطة بها. توجّه بقية البروتينات نحو النسيج الشبكي الخاص بالجبلة الباطنية، حيث ينهي البعض منها تركيبه فيها. أخيراً لا توجد إشارة فرز مقترنة بالبروتينات المكلّفة بأداء وظيفتها في المكان نفسه الذي يشهدُ تركيبها.

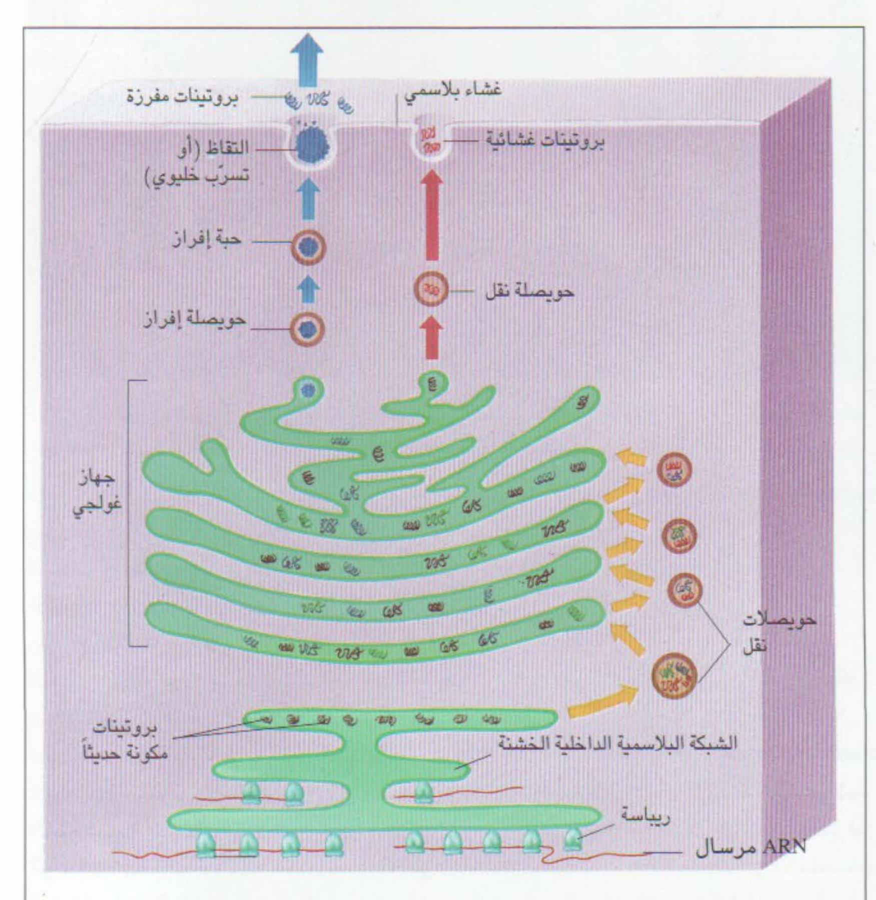
النسيج الشبكي الخاص بالجبلة الباطنية هو شبكة واسعة من الأنابيب الصغيرة والجيوب، يكوّن متاهة رحبة من الأغشية في الخلية. يتم في داخله تركيب الدهنيات وهي المكونات الرئيسية للأغشية. لكن النسيج الشبكي الخاص بالجبلة الباطنية هو كذلك المكان الذي يجري فيه انثناء البروتين وفقاً لشكل خاص، ضروري لوظيفته. وفيه أيضاً تتجمّع بعض البروتينات لتشكّل جزيئات أكثر ضخامة وأكثر تعقيداً. يتم بعد ذلك نقل البروتينات التي انثنت بشكل صحيح والتي تختلف وجهتها النهائية عن النسيج الشبكي الخاص بالجبلة الباطنية نحو جهاز غولجي.

يتكوّن هذا الكنسج من سلسلة من الحجيرات المسطحة المرصوصة بشكل قوس قزح وتعرف بالكييسات الغولجية، والتي تعطيه شكل رزمة صحون مجوفة. إن جهاز غولجي هو مكان النضج والفرز والترزيم للمواد المنحدرة من النسيج الشبكي الخاص بالجبلة الباطنية، لكنه أيضاً الموقع الأساسي لتركيب السكريات. إن البروتينات القادمة من النسيج الشبكي الخاص بالجبلة الباطنية تنفذ دائماً عبر الجهة المحدبة للكييسات، وهي تشكّل إذن ما يشبه بوابة الدخول. تؤمن حويصلات كروية الشكل محاطة بغشاء مرور البروتينات من النسيج الشبكي الى أول كييس غولجي، ثم من كييس إلى آخر. وعلى طول مسافة عبورها في جهاز غولجي، تخضع البروتينات لسلسلة من التغيرات. من بين أهم هذه التغيرات واحدة تعرف بـ Glycosylation أو وسم البروتينات بالسكّر: وفقاً لوجهتها النهائية، يكتمل كل بروتين بـ «سمة» مكوّنة من جزيئة سكر صغيرة. بمجرد تجميعها وثنيها ووسمها بالسكّر، تصبح البروتينات جاهزة للقيام بوظيفتها.

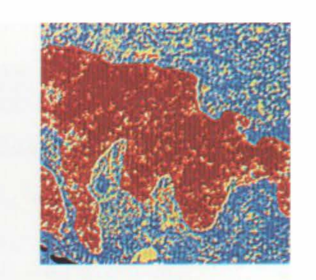
بعد تحزيمها في حويصلات نقل أو إفراز، تذهب البروتينات الغشائية للالتحاق بالغشاء البلاسمي، في حين أن معظم البروتينات الأخرى تترك الخلية بهدف حمل رسالة إلى مكان آخر، في أغلب الأحيان. ■

هل تعلم؟

خلال ستين عاماً، اعتبر جهاز غولجي كنتاج لمخيلة كميليو غولجي. والسبب أن تقنية التلوين الخاصة برجل العلم الإيطالي كانت محدودة الانتشار عام 1898. وفي أواخر الخمسينات، وبفضل المجهر الإلكتروني، فقد كميليو غولجي صفته كعالم هاو ليُعترَف به أخيراً كمكتشف للبنية التي حملت اسمه منذ ذلك الوقت. حصل على جائزة نوبل للطب عام 1906.



قبل إرسالها إلى خارج الخلية أو اندماجها في الغشاء البلاسمي، تمر البروتينات من النسيج الشبكي الخاص بالجبلة الباطنية نحو جهاز غولجي وفقاً لاتجاه محدد. تنتقل البروتينات من حجيرة إلى أخرى وهي مربوطة في حويصلات صغيرة.



الانقسام الخليوي

التوالد بشكل مماثل

بانقسامها، تتوالد خلايا كل الكائنات الحيّة بشكل مماثل وبلا كلل. إن انقسام خليّة أم إلى خليتين وليدتين يسبقه عمل تحضيري طويل.



تمثّل خلايا قشرة البصل في الصورة مراحل مختلفة من الانقسام. بعد مضاعفة الـ ADN، تنتظم الكروموزومات على مسطح استوائي لتنفصل بعد ذلك ثم تنتقل نحو قطبين. يشكّل كل قطب بعد ذلك نواة للخليّتين الوليدتين.

بغية استبدال خلاياه المشرفة على الموت، ينتج كل رجل بالغ، في الثانية، ملايين من الخلايا الجديدة المماثلة تماماً للخلايا القديمة. يتوجب على الكائن الحي الذي ما زال في طور النمو أن ينتج كمية أكبر من الخلايا. لتلبية هذا الطلب الضخم، تتكاثر الخلايا بتثنية عناصرها، ثم بالانقسام إلى قسمين. تمثل هذه الدورة من الانقسام الخليوي، الموجودة لدى كل الكائنات الحيّة أيضاً، وسيلة توالد عدد من الأحياء الوحيدة الخلية.

إن انقسام خلية مسبوق حكماً بانقسام نواتها. عام 1875، وصف عالم النبات البولوني، إدوارد ستراسبورغر للمرّة الأولى الآلية التي تسمح لنواة خليّة بولادة نواتين «وليدتين» متماثلتين جينياً. تعرف هذه الظاهرة بالتخيّط أو الانقسام الخيطي غير المباشر. لكن قبل انقسام نواتها، على الخلية أن تعد نسختين عن ميراثها الجيني، الموجود في خليّة أو أكثر

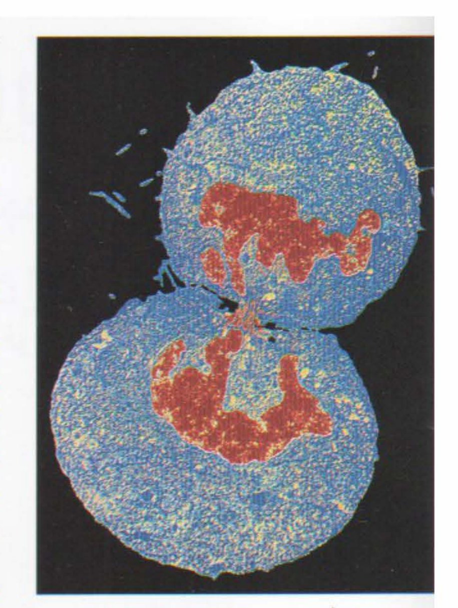
قبل الانقسام، ينبغي على الخليّة أن تنسخ ميراثها الجيني.

من الـ ADN بهدف إعطاء نسخة لكل خلية من خليتيها الوليدتين.

بغية إجراء تنسّخ الـ ADN، الخاص بها، تستعمل الخلية بروتينات خاصة تعرف بالأنزيمات. يتكوّن الـ ADN من سلسلتين من النويدات ملفوفتين بشكل حلزوني إحداهما على الأخرى. يقوم الأنزيم الأوّل الذي يعرف بأنزيم هيليكاز بإبعاد خَيطَيّ الـ ADN، على شكل سحّاب. بعد ذلك، تقوم أنزيمات أخرى تُعرف بالبوليميراز بالتثبت على كل خيط من الخيوط الأبوية وتستعملها كقالب ـ أو كنموذج للصنع ـ لبناء خيط جديد. يقوم كل بوليميراز بالتقاط نويدات، متبعاً الترتيب الذي وضعه الخيط الأبوي. وبمجرد انتهاء عملية التضاعف، يصبح بحوزة الخلية نسختان كاملتان عن برنامجها الجيني. لكن هذه «الجزيئات الوليدة» من ADN لا تنفصل تماماً: إنها تظل مربوطة الواحدة إلى الأخرى في نقطة خاصة تُعرف بالسنترومير (أو القسيم المركزي).

في الوقت نفسه، تقوم الخلية بتضاعف كل كناسجها أيضاً: الحبيبات الخيطية، جهاز غولجي، الشبكة البلاسمية الداخلية... بمجرد انتهاء عمل التضاعف هذا، يجب على الخلية أن ترتب عناصرها، بغية قسمتها بشكل عادل. ينبغي ترتيب جزيئات الـ ADN بشكل خاص. فهذه الأخيرة ما زالت منشورة بشكل تام تقريباً وهي ما زالت تشكّل كتلة معقدة تُعرف بالكروماتين أو الصبغين. عندها تبدأ الخلية المرحلة الأولى من عملية التخيّط أو الانقسام الخيطي.

في مرحلة أولى، يتكاثف الكروماتين وينضم إلى بروتينات متنوعة. وبعد عدّة مراحل طي، يصبح الكروماتين موضّباً في



في المرحلة الأخيرة من الانقسام الخليوي، يستمر الغشاء المشترك لهاتين الخليتين في الانغماد ثم ينقطع.

بنيات منفصلة تُعرف بالكروموزوم أو الصبغيات. يتميز كل كروموزوم بشكل «X». وهو يتكون من شعبتين، تُعرف بالشق الصبغي (أو كروماتيد)، وهي تمثل النسختين المتصلتين في نقطة واحدة من الجزيئة الأم ADN. وفي الوقت نفسه، تنتظم خارج النواة، أنابيب دقيقة أو «عصي» من البروتينات، تشكل عادة البنية أو الهيكل الخليوي، لتكوّن شبكة مزدوجة على جهتي النواة.

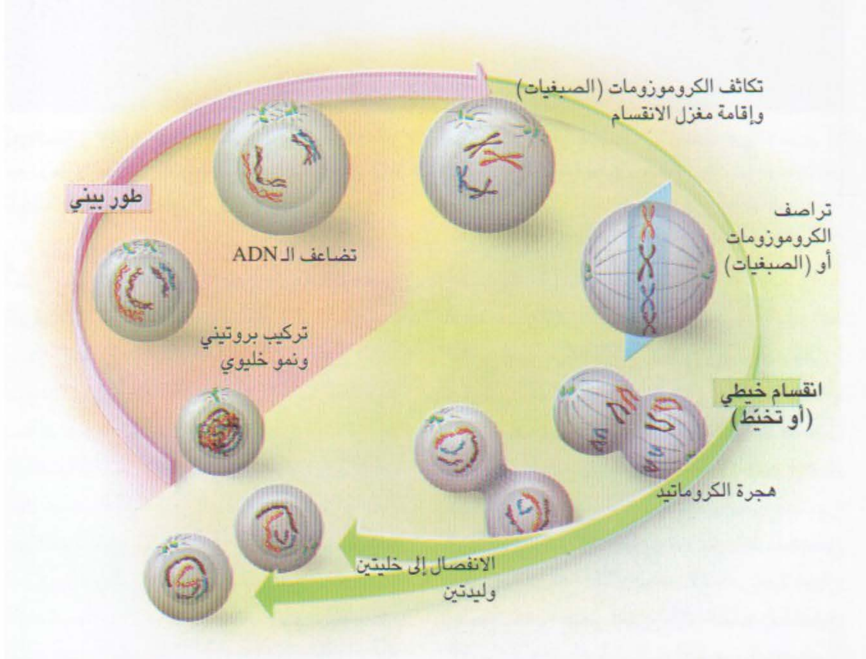
بعد ذلك، ينكسر الغلاف النووي، وهو غشاء كان يعزل النواة عن بقية الخلية. وعندما تنضم الأنابيب الدقيقة من كل شبكة لتشكل حزمة واحدة ضيقة عند طرفيها تُعرف بالمغزل الانقسامي الخيطي. وعلى طول مسارها تلتقط الأنابيب الدقيقة الكروموزومات وترصّها في مسطح يقع عند «خط الاستواء» في منتصف المسافة بين قطبي المغزل.

بتعلقها بهذه الطريقة على الأنابيب الدقيقة، تُسحب الكروماتيد التابعة لكل كروموزوم في اتجاهات متعاكسة. وتبدأ بالتوجه نحو كل قطب من المغزل، كما وكأنها تتحرك على خطي سكك حديدية. بمجرد وصولها على مقربة من كل قطب، تلتصق الكروماتيد ببعضها البعض، وهكذا تعيد تشكيل نواتين من جديد. هنا يصبح بالإمكان بدء المرحلة الأخيرة من الانقسام الخيطي. يتكوّن غلاف جديد حول كل نواة. وحيث إن الكروموزومات قد عزلت عن بقية الخليّة، فإنها تنبسط وتعود إلى حالة الكروماتين.

خلال عملية الانقسام الخيطي، تخضع الخليّة إذن لاضطرابات عميقة. لقد تكوّنت نواتان متماثلتان، كما أن الشبكة البلاسمية الداخلية وجهاز غولجي قد تجزّآ. إضافة إلى ذلك، فقدت الخليّة قدرتها على الالتحام مع بقية الخلايا. تكون الخليّة إذن جاهزة للمرحلة النهائية: انقسامها التام والنهائي أو سيتوديازار. ينغمد الغشاء الخليوي بين النواتين الوليدتين ويشكل ثلماً يتجوف تدريجياً. بعدها لا يبقى إلا جسر ضيق بين الخلايا الوليدة لا يلبث أن يضيق أكثر فأكثر حتى ينكسر. عندها تكون كل خليّة من الخليّتين الوليدتين قادرة على تكرار دورة الانقسام الخليوي من جديد. ■

هل تعلم؟

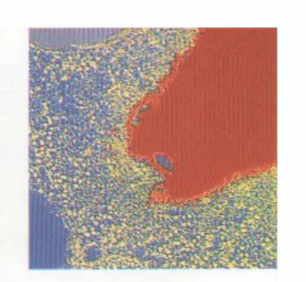
عند كل انقسام، تقصر أطراف الكروموزومات المعروفة بالتيلومير. لكن لا يؤدي ذلك بالخليّة إلى فقدان المعلومة الجينية. في الواقع إن التيلومير تحدد فقط عدد الانقسامات الخليوية القادمة. عند كل انقسام، تطرأ أخطاء في نسخ البرنامج الجيني. وبعد عدد معيّن من الانقسامات تصل التيلومير إلى طول حرج: تتوقف الخلايا عن الانقسام وتموت. يسمح هذا للكائن الحي بعدم استمرار هذه الخلايا المليئة بالأخطاء الجينية التي قد تنقسم بشكل فوضوي، أو بتعبير آخر، تشكل سرطانات عديدة.



تتضمن دورة الانقسام الخليوي ست مراحل، ينبغي على الخلية أولاً أن تضاعف كل مكوناتها، ثم أن تنضدها لتفصلها في مجموعتين: واحدة لكل خلية وليدة.

تفسير كلمات

- يمثل **الكروموزوم** (الصبغيات) المرحلة الأخيرة من عملية طي الكروماتين (الصبغين).
- **الكروماتين** (الصبغين) هو تجمّع جزيئات ADN مع بروتينات، بشكل خيوط دقيقة متشابكة. إن ADN الخلايا التي لا تنقسم (أو التي توقفت عن الانقسام، مثل الخلايا العصبية) تظهر دائماً بشكل كروماتين.
- **التخيّط أو الانقسام الخيطي** هو الآلية التي تولّد نواة الخلية من خلالها نواتين متماثلتين جينياً مع النواة الأبوية. غالباً ما يستعمل هذا التعبير للإشارة إلى مجمل عملية الانقسام الخليوي.



التوالد الجنسي (أو الشقّي)

مزج الجينات وولادة كائنات جديدة

حتى تتوالد، تمر معظم الأنواع عبر الجنسيّة التي تعتبر مصدر التنوّع الجيني. من مرحلة إنتاج الخلايا الجنسية حتى مرحلة التلقيح، يتمّ عمل كل ما من شأنه أن يولّد خلفاً فريداً تماماً.



إن الحيون المنوي، الذي يملك مجموعة واحدة من الجينات، يخترق البويضة، التي لا تملك هي الأخرى إلا مجموعة واحدة من الجينات. بعد ذلك، تندمج نواتا هاتين الخليتين لتعطيا خلية ـ بيضة تملك مجموعتين من الجينات، تنمو فيما بعد بشكل مضغة.

أكثر من 95% من الأنواع الموجودة في الوقت الحاضر تتوالد بالطريقة الجنسية. بدلاً من استعمال الانقسام الخليوي، الذي لا يحتاج إلا إلى كائن حي واحد، تتشارك معظم الكائنات الحيّة لتتوالد، وفقاً لمقتضيات التوالد الجنسي. لكن، إذا كانت الكائنات الحيّة تتوالد، فذلك لتأمين بقاء ميراثها الجيني عبر ذريتها. وفقاً لهذه الرؤية، يمثل التوالد اللاجنسي، أي الاستنساخ، الأداء الأفضل: فالأنواع التي تتبع هذه الطريقة تتكاثر بشكل أسرع مع الاحتفاظ بميراثها الجيني إلى أقصى حد.

إضافة إلى ذلك، تكون طريقة التوالد الجنسي أكثر كلفة من طريقة التوالد اللاجنسي. فالكائن الحي يصرف كثيراً من الطاقة في البحث عن شريكه ثم في المجامعة. وإذا كان التطور قد سهّل التوالد الجنسي، فلأن هذا الأخير يعتبر مصدراً للتنوع.

في الواقع، يتأتى نصف الميراث الجيني لشاب من أمه والنصف الآخر من أبيه. ينتج تصنيف الجينات هذا من المزيج الصدفوي لميراث الوالدين الجيني. وهكذا، فإن الأنواع التي تتوالد بالطريقة الجنسية تنجب أبناءاً مختلفين عن بعضهم وعن أهلهم. غير أنه مع التجديد المستمر للوحة التركيبات الجينية، تسمح الجنسيّة للأفراد بالتكيف بشكل أسرع مع تغيّر البيئة. وإذا طرأ هكذا تغيّر، فسوف تكون هناك دائماً فروع أكثر تكيفاً من فروع أخرى مع هذه البيئة الجديدة. سوف يكون بإمكانها إذن البقاء على قيد الحياة والتوالد بدورها. تمنح قابلية التغير الجيني إذن حسنة ثمينة للأنواع التي يتوجب عليها مواجهة تغيرات غير متوقعة في محيطها.

تزيد الجنسيّة فرص التكيّف مع التغيّرات غير المتوقعة للبيئة.

في آلية الجنس، كل شيء معد لتسهيل الحصول على تركيبات جينية أصلية. من مرحلة إنتاج الأمشاج (الحيونات المنوية والبويضات) حتى مرحلة اندماجها (التلقيح)، تحدث عدة عمليات مزج جيني. باستثناء الأمشاج، التي ينبغي عليها الاندماج مع بعضها لتكوين خلية بيضة، تمتلك كل خلايا الكائن الحي تقريباً مجموعتين من الكروموزومات: مجموعة من جهة الأب ومجموعة من جهة الأم. تُعرف الخلية التي تحتوي على هاتين المجموعتين بالخلية الثنائية الصبغيات.
لتوليد الأمشاج التي هي خلايا أحادية الصبغة، ينبغي على الخلايا الثنائية الصبغة أن تنقسم وفقاً لآلية خاصة،

إن الكروموزومات، المتجمّعة بشكل وثيق تتبادل مادة جينية.

تعرف بالتنصف أو الانتصاف. المقصود هنا هو تتابع انقسامين خلويين مختلفين. قبل حصول الانقسام الأول من هذين الانقسامين الخليويين، يتم تضاعف مجموعتي الكروموزوم بحيث يظهران بشكل ذي «فرعين» متماثلين، متكونين من الـ ADN الملتف: الشق الصبغي أو الكروماتيد. وبعد هذا التضاعف، تقترن كل مجموعة مع شريكها، لتشكل بنية ذات أربع كروماتيدات. يسمح هذا الاقتران

أرقام

- خلال عملية التنصّف أو الانتصاف، يحمل كل زوج من أزواج الكروموزومات البشرية الـ 23، بمعدل وسطي، من 2 إلى 3 حالات تعابر كروموزومي.
- بفضل المزج المستقل لكروموزوماته الـ 46، بإمكان الرجل أن ينتج 608 388 8 مشيجاً مختلفاً.
- يمكن لأول انقسام تنصّفي، شديد التعقيد، أن يأخذ 90% من المدة الكاملة لعملية التنصّف.

بالحصول على أول ترتيب جيني جديد. في الواقع، إن الكروماتيد هي متجمعة بشكل وثيق لدرجة أنها «تتعابر» وتتبادل المواد الجينية: جزء من الكروماتيد من جهة الأم مقابل نظيره من جهة الأب. إن انتشاب الصبوغات الذي يعرف أيضاً بالتصالب أو العبور أو التعابر هو مصدر تغيريّة جينية لامتناهية تقريباً.

بعد ذلك تنفصل الكروموزومات، وتتجه كل واحدة إلى الجهة المقابلة في الخلية. يشكل هذا التوزيع نوعاً ثانياً من أنواع المزج الجيني. لأن كل كروموزوم من زوج الكروموزومات، بصرف النظر عن أصله الأبوي يتّجه بالصدفة إلى هذه الجهة أو تلك، من الخلية. عند انتهاء هذا التوزيع،

خلال عملية إنتاج الخلايا الجنسية، في الصورة الحيونات المنوية، توجد آليات عديدة تزيد تنوّع محتواها الجيني.

يحدث الانقسام الخليوي. إنه يؤدي إلى ولادة خليتين وليدتين ثنائيتي الصبغيات تنقسمان بدورهما فوراً. تنفصل الكروماتيدات العائدة لكل كروموزوم، ويتكوّن بالنتيجة أربع خلايا أحادية الصبغة لا تحتوي إذن إلا على نسخة واحدة من الميراث الجيني. إنها الأمشاج. بفضل هذا المزج الجيني المزدوج بين كروموزومات خلية (عبر مبادلات الكروموزومات التابعة لزوج، ثم

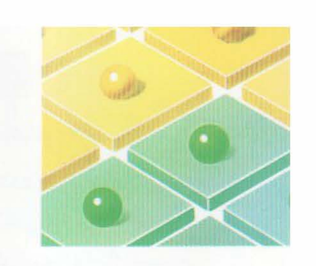
هل تعلم؟

لقد انتشرت النباتات على وجه الأرض بفضل توالدها الجنسي. ففي الواقع، إذا كانت النباتات التي تتوالد بالافتسال تخضع للركود، فإن النباتات التي اختارت الجنس للتوالد، بإنتاجها البزور والبوغ التي تنتقل بواسطة الهواء أو الحيوانات، تستعمر أوساطاً جديدة. وهكذا، إضافة إلى كونها مصدر تنوّع جيني، فإن الجنس يمنح حسنات أخرى تختلف باختلاف الأنواع.

لتوزيعها الصدفوي في الخلايا الوليدة)، تنتج عملية التنصّف لخلية واحدة أربعة أمشاج مختلفة كثيراً. دون الأخذ بعين الاعتبار تعابر الصبوغات، يمكن لرجل واحد، يحمل 23 زوجاً من الكروموزومات، أن ينتج أكثر من 8 ملايين حيون منوي مختلفاً! خلال عملية التلقيح، سوف يذهب حيون منوي واحد لنقل واحدة من هذه التشكيلات الجينية إلى بويضة، تتطابق هي الأخرى مع واحدة من التشكيلات الجينية المختلفة (8 ملايين هنا أيضاً) المتحدرة من فرد مختلف تماماً عن الفرد الذي أعطى الحيونات المنوية. إن اندماج هذين الميراثين الجينيين سوف يولّد إذن فرعاً فريداً بشكل مطلق. لهذا السبب، وباستثناء التوأمان المتحدران من بيضة واحدة، من المستحيل إيجاد فردين متماثلين جينياً. ■

تفسير كلمات

- **الأمشاج** هي الخلايا الجنسية، أي الحيونات المنويّة والبويضات.
- تحتوي **الخليّة الثنائية الصبغيات** على مجموعتي كروموزومات. أما الخليّة الأحادية الصبغة، فهي لا تحتوي إلا على مجموعة واحدة.
- **التنصف** هو انقسام خاص ينتج الأمشاج. وانطلاقاً من خلية ثنائية الصبغيات وحيدة، يؤدي انقسامان خليويان متتابعان إلى إيجاد أربع خلايا أحادية الصبغة.



قوانين الوراثة

قصة البازيلا

كيف يمكن للون العينين، وشكل الأذنين، وكل السّمات الأخرى أن تنتقل من جيل إلى جيل؟ لماذا يمكنها أن تتجاوز جيلاً لتعود وتظهر في الجيل اللاحق؟ هذا ما ستفسره قوانين الوراثة.







إن أوجه التشابه العائلي توضح جيداً الانتقال الوراثي للسمات. وهكذا توجد اثنتان من القسمات العائلية النموذجية لآل هابسبورغ، الأنف الأقنى أو المعقوف والشفة السفلى الضخمة، وقد انتقلتا من جيل إلى جيل خلال أكثر من 400 سنة. من اليمين الى اليسار، أرشيدوق النمسا مكسيميليان الأول (1459 ـ 1519)، شارلوكان (1500 ـ 1558)، وفريدريك الثالث من ستيريا (1415 ـ 1493).

لو سئل مؤيدو نظرية «الوراثة بالمزج» عمّا سيكون عليه لون صغار ببغاء أزرق تزاوج مع ببغاء أصفر، لأجابوا «اللون الأخضر»، كونهم مقتنعين أيضاً بأن ذرية هؤلاء الصغار ستكون بنفس اللون...

عام 1865، عارض غريغور مانديل هذه النظرية العجيبة .أثناء قطاف البازيلا، أجرى هذا الراهب النمساوي، للمرّة الأولى، ملاحظات كميّة دقيقة حول انتقال السمات الوراثية. إنه يعتبر اليوم أباً لعلم الوراثة وقد اقترح عدة آليات من شأنها تفسير نتائجه.

تشكّل حبوب البازيلا مادة اختبارية جيدة، لأنه يوجد منها تشكيلات عديدة: إن لون الأزهار، وشكل الأوراق، ومظهر حبوب البازيلا ولونها، إلخ... تختلف وفقاً للأفراد: إنها ميزات وراثية تحدد كـ «سمات». لدراسة انتقال سمة معينة من جيل إلى جيل، يكفي تهجين نوعين فيما

وُلد علم الوراثة في حديقة دير نمساوي.

بينهما، لا يختلفان إلا في مظهر واحد مثل لون الزهور. يكون ثبات السمة مؤكداً عندما يعطي تهجين أفراد من نفس السلالة دائماً نفس السمة، مثل زهور بنفسجية اللون، يقال عندها إن السلالة عريقة.

عند إجراء تهجين سلالتين عريقتين مختلفتين، مثل نوع له زهور بنفسجية اللون مع نوع له زهور بيضاء، يصبح بالإمكان ملاحظة كيفية توزيع هذه السمة «لون الزهور» عبر السلالة. في الواقع، توجد قواعد دقيقة تحدد توزيعها. لدى الهجن المتحدرة من التهجين بين زهور بنفسجية اللون وبيضاء اللون، تكون كل الزهور بنفسجية اللون. وإذا تتابعت التجربة، يلاحظ أن تهجين الهجن فيما بينها يعود ويُظهر زهوراً بيضاء وسط الزهور البنفسجية. إضافة إلى ذلك، يكون التوزيع محدداً بشكل دقيق. هناك $\frac{3}{4}$ من الذرية ذات الزهور البنفسجية مقابل $\frac{1}{4}$ من السلالة ذات الزهور البيضاء. لم يختلف إذن في الجيل السابق المُعَامِل الوراثي (أي الجينة) المسؤول عن اللون الأبيض، لكنه ببساطة احتجب بفعل نشاط جينة «اللون البنفسجي»، بحيث إن مظهر زهور الهجن بدا متوقفاً فقط على هذه الجينة الأخيرة.

في هذا المثل، توجد الجينة التي تحكم لون الزهور في شكلين. تسمى هذه البدائل لنفس الجينة بالمضادات أو الأصناء. غير أنه لكل سمة معينة، يرث الكائن الحي نسختين من كل جينة، واحدة متأتية من الأب والأخرى من الأم. لدى الأفراد المتحدرين من سلالة عريقة، تكون الجينتان المتأتيتان متماثلتين. وكل فرد

تفسير كلمات

- يمكن لنفس الجينة أن توجد تحت عدة نسخات تُعرف **بالمضاد**. إذا احتوت خلايا فرد على نسختين من نفس الطبعة، يُعرف عندئذٍ **بالمتجانس الزيج**، وإذا احتوت على طبعتين مختلفتين، يعرف عندئذٍ **بالمتباين الزيج**.
- تُعتبر السمة **غالبة** إذا عُبّر عنها بشكل دائم، وتعتبر السمة **متنحية** إذا كان لا يُعبّر عنها إلا في غياب السمة الغالبة.
- **النمط الموروثي** هو مجموعة الجينات في فرد، في حين أن **النمط الظاهري** يضم كل سماته المعبّر عنها.

يحمل مرتين نفس المضاد الخاص بالجينة يعرف بالمتجانس الزيج لهذه الجينة. وبالتالي فإن الخلايا التناسلية، التي تعرف بالأمشاج، التي سينتجها ستكون كلها حاملة لنفس المضاد أو الصِنْوية. إذا تمّ تهجين نبتتين ذوات زهور بيضاء متجانسة الزيج للجينة، يصبح مفهوماً سبب الحصول إلى ما لا نهاية على سلالة ذات زهور بيضاء.

في المقابل، ترث الهجن المتحدرة من تهجين نباتات ذات زهور بيضاء مع نباتات ذات زهور بنفسجية مضادتين مختلفتين: المضاد الأول للون البنفسجي متحدر من أحد الأبوين، والمضاد الثاني للون الأبيض، متحدر من الوالد الثاني. تُعرف هذه الهجن بالمتباينة الزيج لهذه الجينة. إلاّ أنهما يملكان جميعاً زهوراً بنفسجية: عندما يتعايش المضادان، يسيطر أحدهما (هنا المضاد «لون بنفسجي») على الآخر (هنا المضاد «لون أبيض»). وكون هذا المضاد قد احتجب من قبل المضاد الغالب، فإن المضاد المتنحي لا يكون له أي أثر على مظهر الكائن الحي.

إن ظاهرة سيادة مضاد على آخر، مقترنة بقوانين الاحتمال، تفسّر نسب الأفراد ذي اللون الأبيض $\frac{1}{4}$ والبنفسجي $\frac{3}{4}$ الناتجين عن تهجين الهجن فيما بينها. في الواقع، حيث إن هذه الأخيرة هي متباينة الزيج، فإن نصف خلاياها التناسلية تملك المضاد «اللون الأبيض»، والنصف الآخر يملك المضاد «اللون البنفسجي»، إلا أن كل فرد من الجيل اللاحق سينتج عن اللقاء بالصدفة بين بذرة لقاح وبويضة ناتجة عن الهجن. يرث الربع منهم مضادين غالبين «لون بنفسجي» وتكون زهورهم بنفسجية اللون. يملك ربع آخر منهم مضادين متنحيين «لون أبيض»، تكون زهورهم بيضاء اللون. ويملك النصف المتبقي مضاداً غالباً ومضاداً متنحياً. تكون كل زهورهم إذن بنفسجية اللون.

إن انتقال السمات الوراثية يكون غالباً أكثر تعقيداً. فظواهر السيادة لا تكون في الواقع واضحة إلى هذا الحد دائماً. إضافة إلى ذلك، يمكن لجينة واحدة أن تعطي أكثر من خيارين كما أن تعبيرها يمكن أن يخضع لتغيرات البيئة. ■

هل تعلم؟

إذا فقد هرّ سيامي وبراً من ذنبه، وظل في مكان تكون درجة الحرارة الخارجية فيه أعلى من درجة حرارة جسمه، فإن الوبر الذي ينمو يكون أبيض اللون. وإذا فقد الوبر الموجود على ظهره أثناء البرد، يكون الوبر الذي ينمو أسود اللون. تغير البيئة إذن ملامح الجينات المسؤولة عن لون شعر الحيوان.



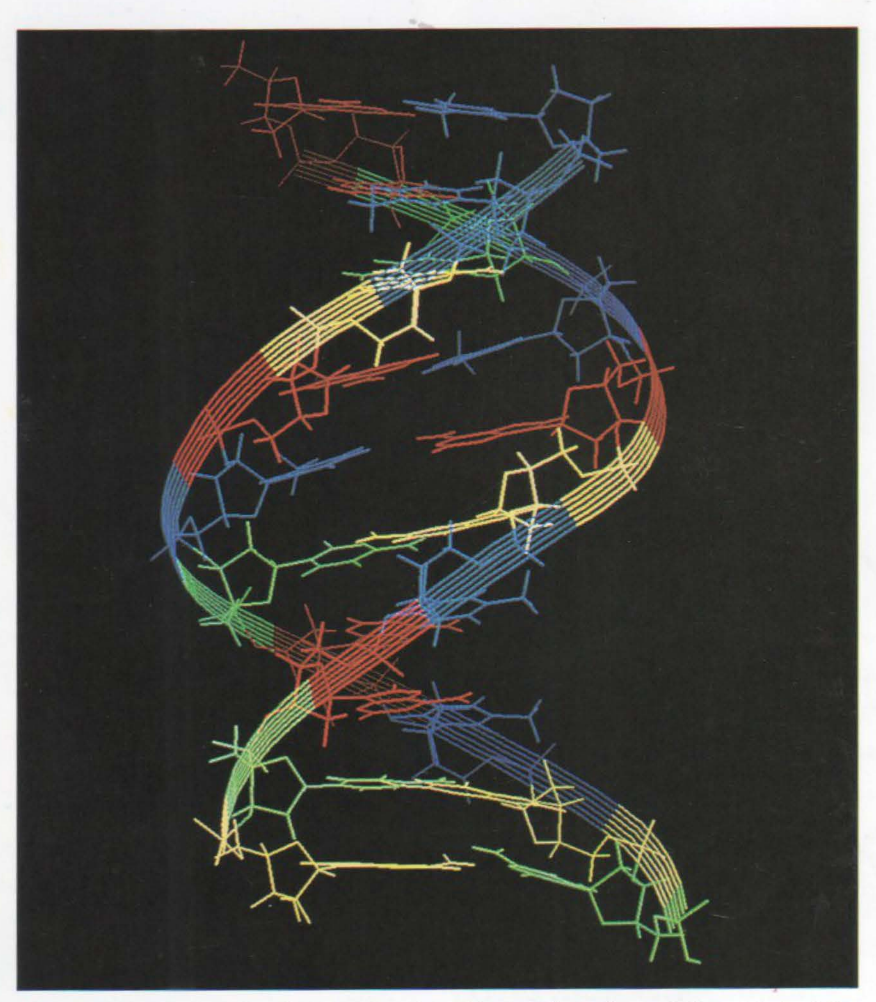
بتهجينه حبوب البازيلا، تمكن مانديل من إيجاد القوانين الأساسية للوراثة. سواء تهجنت حبوب البازيلا التي تختلف فيما بينها بسمة واحدة (الشكل، مستديرة أو مجعدة، إلى أعلى) أو بسمتين (اللون والشكل، إلى أسفل)، يمكن الحصول على هجن متماثلة تماماً. هذا يدل على أن السمات «مستدير» و«أصفر» هي الغالبة. وبتهجين الهجن فيما بينها، ينتج عدة أنواع من البازيلا، وفقاً لنسب لا تتغير.



الطفرات

حوادث جينية وترميم

تتعرّض الخلايا بشكل دائم إلى آلاف الاعتداءات يؤدي بعضها إلى إتلاف الميراث الجيني. تهدّد هذه الاعتداءات التي تُعرف بالطفرات أو التغيرات الإحيائية المفاجئة، بقاء الفرد على قيد الحياة لكن الخلايا تمتلك أنظمة ترميم فعّالة جداً.



تتقابل سلسلتان متتامتان على الشكل الحلزوني المزدوج لـ ADN، وهما متّصلتان فيما بينهما بواسطة إزواج النويدات. وبما أن كل منهما تحمل نفس المعلومة الجينية فإنها يمكن أن تصلح كنموذج لتصحيح الأخطاء التي قد تنزلق في خيط الـ ADN الموجود في الجهة المقابلة.

إن الوسط المحيط بالكائن الحي هو في تغيّر مستمر: تغيرات حرارية، كيماوية، ضوئية، صوتية... لهذا السبب، تتعرض كل خلية من خلايا الكائن الحي، بشكل دائم، إلى آلاف الاعتداءات. يصل العديد منها إلى خلية الـ ADN التي تعتبر الحامل المادي للميراث الجيني القاطن في نواة الخليـة. يمكن لأي اعتداء من هذه الاعتداءات أن يتلف المضمون الإعلامي. غير أن كل تعديل مستديم يصيب الـ ADN يشكل خطأً جينياً أو تغييراً إحيائياً.

ينقل الـ ADN معلوماته بواسطة ترتيب دقيق لجزيئات أولية يُعرف بمتتالية نويدات. يمكن اعتبار كل نويدة (يوجد منها أربعة أنواع: A-C-T-G) كحرف من الحروف الأربعة التي تشكّل الأبجدية المستعملة لتسجيل الرسائل البيولوجية. يمكن إذن لتغير نويدة واحدة أو لضياعها أن يغير الرسالة البيولوجية ويترك بالتالي آثاراً هامة على الخلية.

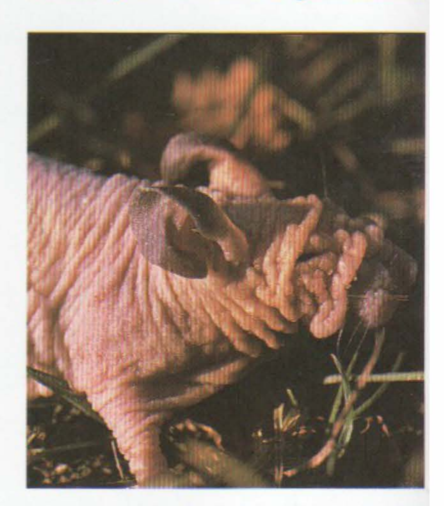
إن التغيرات الإحيائية السيئة هي للأسف كثيرة الوقوع. يمكن لآثارها أن تكون جسيمة إلى حد ما تبعاً للمكان المصاب. قد يؤدي مثلاً تغيّر إحيائي لجينة

إن التغيّرات الإحيائية، التي تعتبر مصدرا لا متناهياً للتنوع، موجودة في قلب آليات التطوّر.

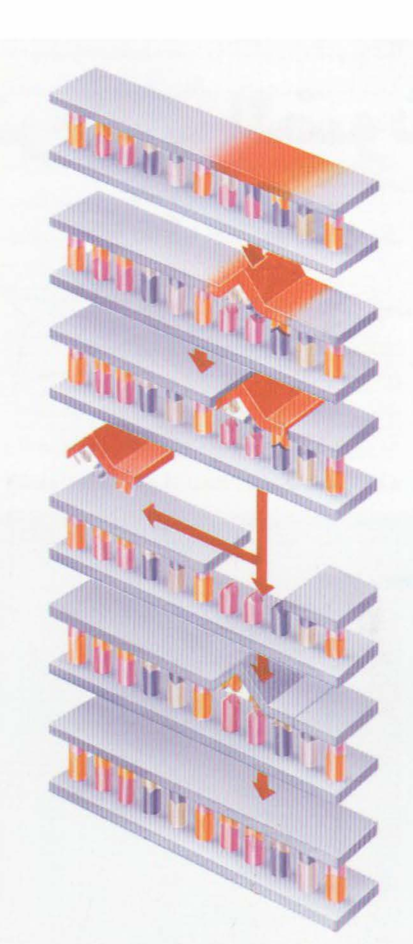
إلى تعطيل بروتين أساسي ويسبّب موت الخليّة. تولّد بعض التغيرات الإحيائية فقداناً حقيقياً للسيطرة على الخلايا: فتتكاثر بشكل أسرع من الخلايا الباقية. يعرض التنامي غير المضبوط للخلايا إلى ما يسمى بالسرطان. لكن تغيرات إحيائية أخرى يمكن أن تكون صامتة ولا تفسد سلوك الخلية. وقد يحدث أحياناً أن يبدو التغير الإحيائي إيجابياً، فيمنح الكائن الحي الذي يحمله حسنة حقيقية. سوف يعطيه فرصاً أكثر للبقاء على قيد الحياة والتوالد. إذا طرأ هذا التغير الإحيائي على

الـ ADN الخاص بخلاياه الجنسية، فإنه سوف ينقل الجينة المتغيرة إلى ذريته. رويداً رويداً، يقوم الاصطفاء الطبيعي باستبدال الجينة الأصلية بالجينة المتغيرة، في كل أفراد الجماعة. وهكذا توجد التغيرات الإحيائية في قلب آليات التطور. إنها في أساس التنوع البيولوجي الحالي. لأن الفوارق بين الأحياء ترتكز على كون جزيئات الـ ADN الخاصة بهم تحمل متتاليات من النويدات الخاصة بهم وبالتالي تحمل رسائل بيولوجية مختلفة. إن استمرار نوع ما على المدى الطويل، يمكن زيادته إذن بواسطة تعديلات في ميراثه الجيني. لكن الأمر يختلف بالنسبة للفرد. بما أن معظم التغيرات الإحيائية مؤذية، لا يمكن أن يسمح لها بالتراكم. إن خلاياه مجهزة جيداً للحفاظ على ميراثها الجيني. فهي تستعمل قبل انقسامها آلية دقيقة جداً لنسخ الـ ADN. وهي تمتلك كذلك آلية ترميم الـ ADN تمحو بسرعة أخطاء النسخ وتصحح التعديلات الناتجة عن مختلف الاعتداءات الناتجة عن الوسط المحيط بها. بفضل فعالية هذه الآلية، سوف يتم الاحتفاظ بأقل من تغيير واحد للنويدات على مليون تغيير، ليتحول عندئذ إلى تغيير إحيائي.

تستعمل الخليّة أدوات ترميم متنوعة وفقاً لنوع الخطأ المكشوف. ترتكز كلها على ميزة أساسية لـ ADN، وهي وجود نسختين للمعلومة الجينية، موجودة كل واحدة على كل سلسلة من الشكل



عندما يظهر تغيّر إحيائي، يمكنه أن يصيب بعض سمات الكائن الحيّ، كما يبدو هذا الفأر المحروم من الوبر.



تقوم عدة جزيئات بترميم الـ ADN. فهي تكشف الجزء الذي يحمل الخطأ وتنزعه وتنتج جزءاً جديداً متبعة نموذج خيط الـ ADN الموجود في الجهة المقابلة، ثم تلحمه إلى بقية السلسلة.

الحلزوني المزدوج لـ ADN. فإذا تغيرت إحداها على أثر حادث، لن يؤدي ذلك إلى فقدان المعلومة. بشكل عام، يجري ترميم الـ ADN وفقاً لمراحل ثلاث. تتعرف بروتينات خاصة تعرف بالنوكلياز على الضرر أو الأضرار الحاصلة ثم تقوم بإزالتها. ثم يأتي بروتين آخر، هو ADN بوليمّيروز، فيسدّ الفجوة الحاصلة في حلزون الـ ADN. إنه يتثبّت على طرف السلسلة المتضررة، ثم يجتازها حتى يصل إلى المنطقة الناقصة. وباتباع نموذج السلسلة الأخرى، يقوم البوليميراز بسدّ الثقب بواسطة نويدة واحدة أو أكثر. وهكذا يقوم بإنتاج نسخة متمّمة للمعلومة المخزنة في السلسلة الأخرى. أخيراً يقوم بروتين ثالث، يعرف بالليغاز، بلحم هذا الجزء الجديد من الـ ADN مع بقية السلسلة. تقوم سلسلة من البروتينات بلا كلل باستعراض سلاسل الـ ADN بغية استبدال النويدات المتضررة.

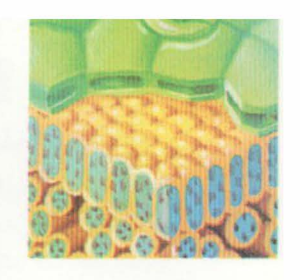
عندما تتراكم كمية كبيرة من الأخطاء في ADN إحدى الخلايا، تقوم هذه الخليّة بإنتاج بروتينات أخرى، تعتبر وكأنها حاميات حقيقية للميراث الجيني. تقوم هذه البروتينات المشفرة بواسطة جينات «مزيلة للأورام» بإيقاف نمو الخلية السرطانية. يسمح وقت التوقف هذا للخلية بتصحيح أخطائها بشكل مناسب. إذا فشل الترميم، تطلق حاميات الميراث الجيني انتحار الخليّة، وبالتالي تؤمن حماية الكائن الحي. لكن في أكثر من نصف حالات السرطان، تكون الجينات المزيلة للأورام ذاتها هي المصابة بطفرات (أو تغيرات إحيائية مفاجئة). ■

هل تعلم؟

إن المعلومة الجينية لبعض الفيروسات الصغيرة جداً مخزنة على سلسلة بسيطة للحامض النووي لا تمتلك هذه الفيروسات إذن نسخة تسمح لها بتصحيح الأخطاء الجينية بشكل فعّال. إنه أحد الأسباب الذي يجعلها تتغير بسرعة كبيرة. تعقد هذه الخاصية عملية إعداد اللقاحات الصالحة لعدة سنوات.

أرقام

- تؤدي تغيرات درجة الحرارة التي نتعرض لها خلال النهار إلى حدوث 000 5 تغيراً طارئاً في نويدات الـ ADN لكل خلية بشرية.
- يتغيّر بروتين يحتوي على 400 حامض أميني بشكل عشوائي مرة كل 000 200 سنة بمعدل وسطي. يعني هذا بأن تغيراً إحيائياً يصيب جينة وينتقل بعدها إلى الذرية يحدث كل 000 200 سنة.
- إن البكتيريا دينوكوكس راديو دورانس تمتلك نظام ترميم الـ ADN الخاص بها، هو من الفعالية بحيث يسمح لها بمقاومة جرعات إشعاعية تفوق 000 1 مرة تلك التي يمكن أن تقتل رجلاً.



التركيب الضوئي

التغذي بالضوء

لكل الكائنات الحيّة ارتباط بالشمس. فالجزيئات الضوئية أو الفوتون تمدّ جميع الكائنات الحيّة بالطاقة، بشكل مباشر أو غير مباشر. تحوّل النباتات والطحالب وبعض البكتيريا الطاقة الضوئية إلى طاقة كيماوية. تسمح لها هذه العملية، التي تعرف بالتركيب الضوئي، باتحاد كربون غاز ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الهواء مع هيدروجين الماء المستمد من الأرض، بإنتاج السكريات والجزيئات العضوية المتنوعة الضرورية لإتمام وظيفتها. بعد ذلك، تعطي هذه الكائنات الحية التركيبية الضوئية لاحقاً بدورها، الطاقة إلى الكائنات الحية التي سوف تستهلكها. لدى النباتات، يجري التركيب الضوئي في «معامل» صغيرة متخصصة في خلايا الأوراق، تُعرف بجبيلات اليخضور. تتم هذه العملية على

ضوء الشمس

ثاني أوكسيد الكربون

ماء

أوكسجين

جزيئات عضوية (سكريات، حوامض أمينية...)

ورقة

منفذ الورقة

الأوراق هي أعضاء متخصصة: إنها تتلقى الطاقة الشمسية بفضل الكلوروفيل أو اليخضور، ثم تستعمل هذه الطاقة لتجميع جزيئات عضوية انطلاقاً من ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الجو.

خلية كلوروفيلية في الورقة

جبيلات اليخضور

مرحلتين: مرحلة مضيئة ومرحلة «مظلمة» لا يتدخل فيها الضوء. تجري المرحلة المضيئة في جيوب صغيرة تعرف بالتيلاكوييد محاطة بغشاء ومكدسة فوق بعضها داخل جبيلات اليخضور.
يقضي دورها بتلقي الطاقة الشمسية بفضل خضاب (خاصة الكلوروفيل أو اليخضور). تسمح هذه الطاقة بكسر جزيئات الماء لتعطي هيدروجين وأوكسجين. فيما تطلق النبتة الأوكسجين في الهواء، فإنها تستعمل الهيدروجين، الذي يكون بشكل جسيمات مشحونة كهربائياً تُعرف بالبروتون. تقوم هذه الكتلة من البروتونات بتفعيل جزيئة ضخمة موجودة في غشاء التيلاكوييد تعرف بالأتيباز. تقوم هذه الأخيرة بتركيب كمية كبيرة من الجزيئات الثلاثية فوسفات الأدنوزين ATP الطاقوية. إن جزيئة ATP هي نوع من «عملة التبادل الطاقوي». تستعمل الطاقة التي تحويها خلال المرحلة الثانية من عملية التركيب الضوئي أو المرحلة المظلمة. بفضل هذه الطاقة، يتحول ثاني أوكسيد الكربون، الذي يكون قد امتصّ خلال النهار بواسطة فتحات صغيرة موجودة على الجهة السفلى من الأوراق تُعرف بالمسامات، إلى سكريات ثم يُخزّن بشكل نشاء أو يتحول إلى حوامض دهنية وحوامض أمينية. هذه الجزيئات العضوية هي العناصر الأساسية التي تكوّن النبتة. ■



إن جبيلات اليخضور، الموجودة بأعداد كبيرة في خلايا الأوراق، هي المكان الذي يجري فيه التركيب الضوئي. تحتوي التيلاكوييد (رقاقات عديدة ملتصقة) على الكلوروفيل. كما أن جبيلات اليخضور تخزن كذلك احتياطيات النشاء (نقاط سوداء).

إن عمليتي التركيب الضوئي والتنفس هما متتامتان. خلال العملية الأولى تنتج النباتات مكوناتها العضوية انطلاقاً من ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الهواء. وهي تستعمل جزءاً من هذه المكونات لنموها، وتضع جزءاً آخر كاحتياطي. يتدهور الباقي خلال عملية التنفّس بغية إمداد الطاقة الكيماوية الضرورية لوظيفة النبتة.



تغذية النبات

بالهواء، الماء والأملاح المعدنية

تستمدّ النباتات الكربون والأوكسجين من الجوّ حتى تتغذى. أما بالنسبة للعناصر الأساسية الأخرى للمادّة الحيّة، أي الهيدروجين والأزوت إضافة إلى الأملاح المعدنية، فإنها تُستخرج من التربة.

طاقة شمسية
ثاني أوكسيد الكربون
منطقة نمو الساق
تركيب ضوئي
مادة عضوية
عضو تناسلي (زهرة، ثمرة، بزرة)
الطبقة الخارجية
والقشرية
اللب
نسغ تام محمّل بالمادة العضوية
حزمة قنوية
عضو تخزين (درنات)
نسغ خام (ماء وأملاح معدنية)
منطقة نمو الجذر

ينفذ الماء والأملاح المعدنية من التربة عبر الشعيرات الماصّة الموجودة في الجذور. على مستوى الأوراق، يحمل النسغ الخام المواد الناتجة عن التركيب الضوئي ويتحول إلى النسغ التام الذي يروي بعد ذلك كل أعضاء النبتة.

مثل كل الكائنات الحيّة التي تستخدم الطاقة الضوئية، تشكّل النباتات واحدة من أوائل حلقات السلسلة الغذائية، وبالتالي فهي محكوم عليها أن تكون طعاماً لآكلات العشب.
إنها تستمد الكربون الضروري لإعداد مكوناتها من ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الجو وتستخرج من التربة عناصرها المغذية الأخرى أي الماء والأملاح المعدنية.
في الواقع، وعلى غرار كل الكائنات الحية، لا يمكن للنباتات أن تستغني عن بعض العناصر الكيماوية مثل الكربون والهيدروجين والأوكسجين والأزوت التي تشكل المكونات الأساسية لجزيئات الحياة. يؤدي التفاعل بين ضوء الشمس والخضاب الموجود في النبتة إلى تحريك عملية كيماوية تُعرف بالتركيب الضوئي. بواسطة هذه الآلية، تتلقى النباتات الأوكسجين والكربون (بشكل ثاني أوكسيد الكربون) من الجو وتستعملهما. أما الأزوت فإنه يستخرج من التربة بشكل نيترات. بالنسبة للهيدروجين، فإنه ينتج عن انحلال جزيئات الماء المستخرج من التربة بفضل الشعيرات الماصّة الموجودة في الجذور.
بغية رفع الماء إلى طرف الأوراق الأكثر ارتفاعاً، تستغل النبتة بشكل خاص الجذب الناتج عن نتح الأوراق. تنفتح مسام صغيرة - أو ثغيرات - موجودة على الوجه الأسفل للأوراق: يتبخّر الماء من النبتة. نتيجة لذلك، يرتفع تركيز العناصر المذابة في خلايا الأوراق. ينتج عن ذلك اختلال في التوازن يدفع ماء النبتة نحو هذه الخلايا «المتجففة». يتوازن عندئذٍ تركيز المواد المذابة على جهتي الغشاء.
بفضل نتح الأوراق، يتم جذب الماء انطلاقاً من الجذور حتى أعلى النبتة. يمر الماء عبر جهاز أوعية ناقلة، جرى إعداده أثناء مرحلة التطور من قبل معظم النباتات التي استعمرت أوساطاً بعيدة عن المسطحات المائية. تتكوّن الأوعية التي تجذب السائل من الجذور حتى الأوراق، من خلايا ميتة:

يؤدي نتح الأوراق إلى صعود الماء والأملاح المعدنية في النبتة.

إنها خشب يعرف بالكيسم. عندما يتم امتصاص عمود الماء الموجود في الكيسم نحو الأعلى فإن الماء المحمّل بالعناصر المعدنية الذائبة يخترق بغزارة جذور النبتة. يحمل عندئذٍ هذا الماء اسم النسغ الخام.
إن الأزوت الذي يشكّل عنصراً أساسياً آخر للحياة (نجده بوفرة في البروتينات وفي ADN)، موجود في النسغ الخام بشكل معدني ذائب، مثل النيترات. في الواقع، لا تستطيع النباتات تثبيت الأزوت الغازي، الذي يشكل 4 / 5 من الهواء، ولا الأزوت العضوي، الناتج عن الأجسام الحيّة الميتة.

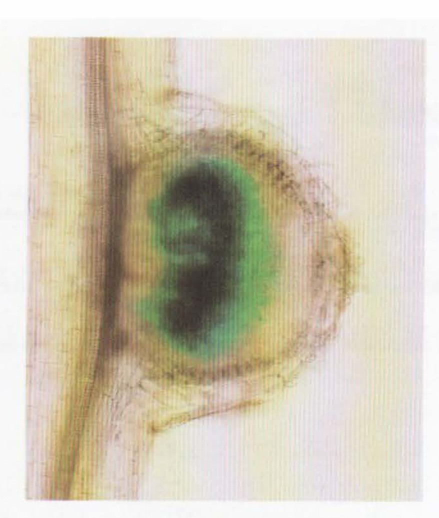
لحسن الحظ يوجد دائماً نيترات في التربة، لأن بعض الكائنات الحيّة المجهرية، خاصة البكتيريا، تحول في التربة الأزوت العضوي للجثث إلى أزوت معدني يمكن استعماله مباشرة من قبل النباتات. هناك بكتيريا أخرى، مثل البكتيريا من جنس الريزوبيوم (عضوية الشكل) لا تثبت الأزوت إلا بوجود جذور لبعض النباتات (صويا، برسيم، نفل...). لا بكتيريا الريزوبيوم الطليقة في التربة، ولا النباتات غير المصابة بهذه البكتيريا يمكنها أن تثبت العنصر الضروري. لهذا السبب يقوم تكافل حقيقي بين النوعين.

هناك معادن أخرى مثل الفوسفور أو البوتاسيوم أو الكبريت أو الماغنيزيوم أو الحديد أو الكالسيوم ضرورية أيضاً للنباتات.

تأتي هذه العناصر المغذية الأساسية الموجودة في التربة من تفتت الصخور. تستمدها النباتات بشكل سلبي، في الوقت نفسه أثناء امتصاصها الماء. غير أنها تبذل طاقة لنقل هذه المعادن إلى داخلها. يجب إذن تكييف استهلاكها بدقة مع حاجاتها التي تتغيّر وفقاً لمرحلة نموها، لأن النباتات، على عكس الحيوانات، لا تنتج أي فضلات، باستثناء ثاني أوكسيد الكربون والأوكسجين اللذين يطلقان في الجو خلال التنفس والتركيب الضوئي.

عندما يبلغ النسغ الخام الأوراق، فإنه يتحمّل بالمواد الناتجة عن التركيب الضوئي (سكريات، نشاء، حوامض دهنية، حوامض أمينية). يؤدي هذا الإغناء إلى تحويل النسغ (الخام) إلى نسغ تام، يوزع في كل النبتة عبر أوعية ناقلة أخرى، يشكل مجموعها اللحاء. بهذه الطريقة تتزود كل خليّة بالجزيئات العضوية.

خلال مراحل تطورها، تفقد بعض النباتات القدرة على التغذي بالكربون بواسطة التركيب الضوئي. حتى تنتج المادة العضوية الخاصة بها، يتوجب عليها إذن، على غرار الحيوانات، أن تستمد مواردها من كائنات حيّة أخرى. وجدت بعض النباتات مثل الهدال (أو الدبق) حلاً لهذه المشكلة بالتطفل: إنها تستمد غذاءها من نباتات أخرى، تمدها كذلك بالماء والأملاح المعدنية. ■



في هذه الدرنية الموجودة في الجذور، تتّحد هذه الأخيرة بشكل وثيق مع بكتيريا مثبتة للأزوت. يعيش هذان النوعان بالتكافل.

هل تعلم؟

إذا كانت أوراق الأشجار تصفرّ، فلأنها تفتقر إلى الأزوت. أما إذا كان زوال اللون يعني أيضاً البراعم الشابة، فيكون ذلك نتيجة لنقص الحديد. غير أنه لا يدخل في تشكيل الكلوروفيل (الذي يحتوي في المقابل على الماغنيزيوم). لكنه ضروري لتركيب هذا الخضاب الحيوي، الذي يشكل أساس التركيب الضوئي.

تفسير كلمات

- يتكون **النسغ الخام** من الماء والأملاح المعدنية المستمدة من التربة عبر الجذور. عندما يصل النسغ الخام، إلى الأوراق، فإنه يحمل مواد التركيب الضوئي ويصبح عندئذ **النسغ التام**.
- **الكيسم** أو نسيج الخشب هو أنبوب يتكوّن من أنسجة ميتة (الخشب)، وهو يشكل الجهاز القنوي الذي يسمح للنبتة بنقل النسغ الخام من الجذور إلى الأوراق.
- **اللحاء** هو مجموعة الأنابيب المكوّنة من خلايا حيّة. إنّه يوزع النسغ التام على كل أجزاء النبتة.

أرقام

- يمكن لنتح الأوراق أن يأخذ من النباتات أكثر من 90% من الماء الذي امتصته. وعليه فإن شجرة معزولة يمكن أن تخسر كل يوم حوالى 500 ليتراً من الماء.
- تقدر الكمية العالمية لثاني أوكسيد الكربون الذي تثبته النباتات بـ 100 مليار طن في العام. وهي تطرح في الوقت نفسه، كمية متعادلة من الأوكسجين، في الجو.

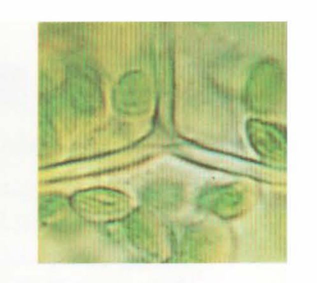
توضيح

بغية سد نقص العناصر المغذية في التربة التي تنبت فيها النباتات اللاحمة (التي تقتات بالحشرات)، تتغذى هذه الأخيرة من الحيوانات وخاصة من الحشرات الطائرة. وهي تزيد بهذه الطريقة مؤونتها من الفوسفور والأزوت. غير أن هذا الإمداد يؤدي إلى تحسين حياتها، لأن هذه النباتات، تتغذى قبل كل شيء بشكل تقليدي: إنها تستعمل التركيب الضوئي وتجد في التربة الماء والأملاح المعدنية الضرورية.





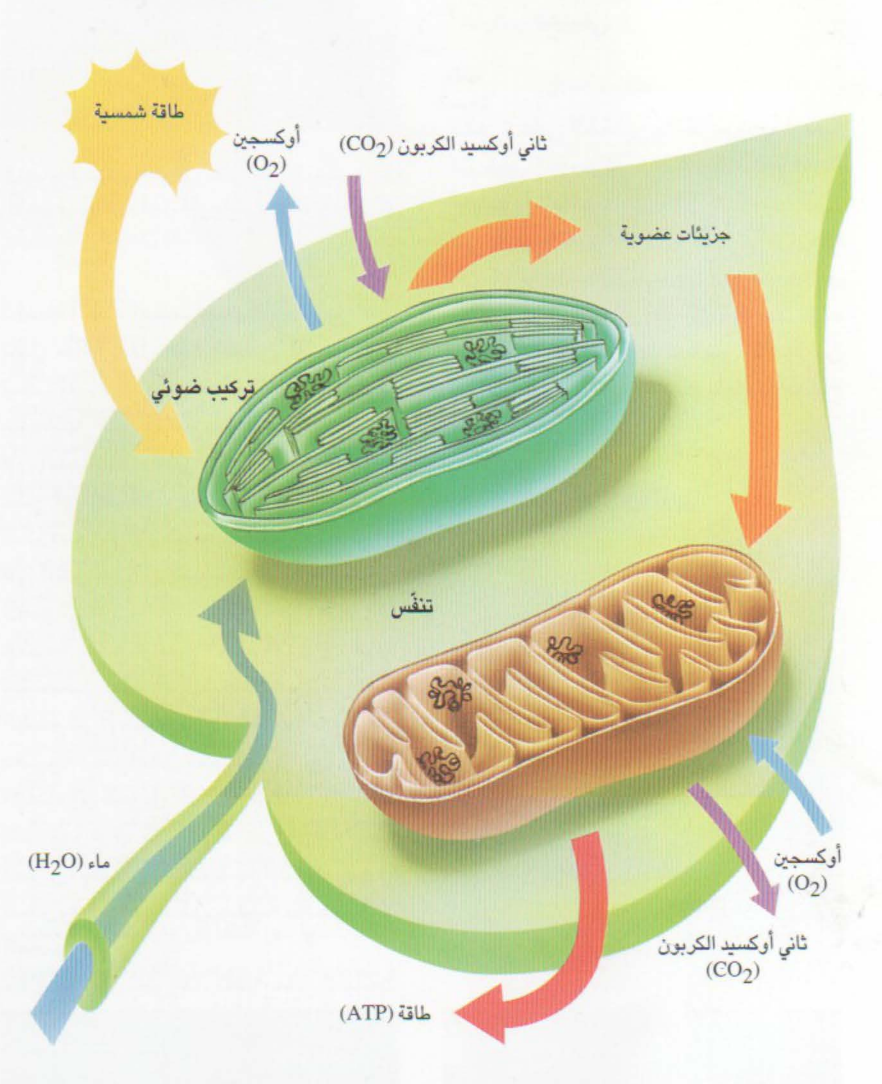
تبدو على ورقة العنب المريضة، في الصورة إلى اليسار، أعراض خلو الحديد. (تبدو إلى اليمين ورقة سليمة). يؤدي نقص الأملاح المعدنية في أغلب الأحيان إلى اصفرار الأوراق، نتيجة لتدمير الكلوروفيل، وهو الخضاب الأخضر الضروري للتركيب الضوئي.



استقلاب النباتات

الثنائي: التركيب الضوئي / التنفّس

بغية إعداد مكوناتها دون استهلاك كائنات حيّة، تجمع النباتات نظامين لإنتاج الطاقة: فيما يستغل التركيب الضوئي الطاقة الضوئية للشمس، يعطي التنفس الطاقة القابلة للاستعمال.



يجري التركيب الضوئي داخل جبيلات اليخضور ويحوّل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيماوية. أما التنفس، فإنه يجري داخل حبيبات خيطية (ميتوكوندريا) وينتج بدوره طاقة. تسمح مزاوجة التركيب الضوئي مع التنفس للنبتة بإعداد مكوناتها.

تُشكّل النباتات، على غرار كل الكائنات الحيّة، مكاناً تجري فيه تفاعلات كيماوية عديدة تندرج جميعها تحت مسمّى الاستقلاب (أو التحوّل أو الأيض الغذائي). تنتج بعض هذه التفاعلات طاقة بتحليل جزيئات مركبة إلى جزيئات أكثر بساطة، والبعض الآخر منها، يستهلك في المقابل طاقة ليحوّل جزيئات بسيطة إلى جزيئات أكثر تعقيداً.

إن النباتات قادرة على إنتاج الطاقة دون الحاجة إلى استهلاك كائنات حية أخرى: إنها ذاتية التغذية (التفسير الحرفي: إنها تقتات من ذاتها). لهذه الغاية، تلجأ النباتات إلى عملية التركيب الضوئي، التي تسمح لها بتحويل الطاقة الضوئية المتوفرة بكثرة وغير قابلة للنفاد، إلى طاقة كيماوية. يجري التركيب الضوئي في كناسج صغيرة داخل الخلايا النباتية، تعرف بجبيلات اليخضور، وهي تعتبر مصانع كيماوية حقيقية صغيرة جداً تعمل على الطاقة الشمسية. في مرحلة أولى، يقوم الكلوروفيل (اليخضور) وهو خضب أخضر اللون موجود في جبيلات

إن مزاوجة الثنائي: التركيب الضوئي / التنفّس تسمح للنباتات بالعيش دون استهلاك كائنات حيّة.

اليخضور، بامتصاص الطاقة الضوئية. تسمح هذه الطاقة الضوئية لجبيلات اليخضور بكسر جزيئات الماء التي امتصتها النبتة، لاستخراج الهيدروجين منها، بشكل جسيمات مشحونة كهربائياً، هي البروتون. تحرك هذه البروتون جزيئة ضخمة تعرف بالأتيباز، تقوم بتركيب جزيئات ATP (ثلاثي فوسفات الأدنوزين) الغنية جداً بالطاقة الكيماوية. اما بالنسبة للأوكسجين الناتج عن تفكك الماء، فإنه يُطلَق في الجو.

يأتي الآن دور المرحلة الثانية من التركيب الضوئي، التي تعرف «بالمرحلة المظلمة» لأنها لا تحتاج إلى طاقة الشمس ويمكن بالتالي أن تحدث أثناء الليل. تستعمل

أرقام

- على مقياس كوكب الأرض، يُقدّر أن جبيلات اليخضور تنتج، بفضل التركيب الضوئي، 160 مليار طن من السكريات كل عام. لا توجد أية عملية كيماوية طبيعية لها مردود يعادل ذلك.
- يقدر عدد جبيلات اليخضور الموجودة في المليمتر المربع من ورقة النبتة بـ 500 000.

إن جبيلات اليخضور هي مصانع كيماوية تعمل بالطاقة الشمسية.

جزيئات ATP التي أُنتجت خلال المرحلة الأولى كوقود لسلسلة من التفاعلات الكيماوية الحيوية، يعرف مجموعها بدورة كالفن. يتحول فيها ثاني أوكسيد الكربون الملتقط من الجو إلى سكريات. هكذا تحول النباتات موادَّ فقيرة بالطاقة مثل الماء وثاني أوكسيد الكربون، إلى مواد تحتوي على الكثير من الطاقة، وهي السكريات.

يقوم جزء من السكريات التي أُعدّت في جبيلات اليخضور بتقديم المادة الأولية (أي سلاسل الكربون) الضرورية لتركيب الجزيئات العضوية الأساسية التي تحتاج إليها النبتة (حوامض دهنية، حوامض أمينية، إلخ...). ويتخزن الجزء الآخر بشكل احتياطيات من النشاء. أخيراً يستعمل الجزء الباقي كوقود للتنفس الخليوي. تجري عملية التنفس، التي تلجأ إليها الحيوانات أيضاً، في كناسج طاقوية أخرى داخل الخلايا هي الحبيبات الخيطية (أو هنيات الجبلة، أو الميتوكوندري). تتمتع جبيلات اليخضور والحبيبات الخيطية بالكثير من النقاط المشتركة. فالاثنتان محاطتان بغشاء مزدوج، وهما مجهزتان بأجهزة منتجة لـ ATP (ثلاثي فوسفات الأدنوزين). وإذا قارنا الحبيبات الخيطية مع جبيلات اليخضور، نجد أن الأولى تعمل «بعكس» الثانية. إن جبيلات اليخضور تلتقط طاقة خارجية (الضوء)، وتستعملها لإنتاج ATP، وهذا الأخير يُستعمل بدوره لإنتاج المادة العضوية (السكريات). في الختام، تستهلك هذه العملية (التركيب الضوئي) الطاقة وثاني أوكسيد الكربون والماء وتنتج سكريات وتطرح الأوكسجين. أما الحبيبات الخيطية فإنها على العكس تكسر جزيئات السكريات في وجود الأوكسجين، لإنتاج كميات كبيرة من ATP. تستهلك هذه العملية (التنفّس) سكريات وأوكسجين، وتنتج طاقة وتطرح ثاني أوكسيد الكربون والماء. إن هاتين الظاهرتين متشابهتان بشكل بارز، وهما أيضاً متتامتان كثيراً: لدى النباتات، تأتي الطاقة المطلوبة للتنفّس من المادة العضوية المعدّة بواسطة التركيب الضوئي. أما الحيوانات، فإنها غير قادرة على إجراء التركيب الضوئي، لذلك يتوجب عليها أن تحصل على المادة العضوية المشكلة سلفاً: لهذا تقوم الحيوانات باستهلاك كائنات حيّة أخرى.

يسمح الـ ATP والسكريات الناتجة عن التنفس الخليوي والتركيب الضوئي لخلايا النبتة بتحضير كل الهيولينات، والدهنيات والسكريات المركبة التي تحتاج إليها. يعطي السكروز مثلاً على ذلك. إنه السكر الأساسي المنتج على مستوى الأوراق، وهو يوزع على كل الأجزاء الأخرى من النبتة بالنسغ التام. بربطها لعدة خلايا سكروز، تكوّن الخلايا النباتية سكراً مركباً يعرف بالسلولوز. إن السلولوز هو المكوّن الأساسي للجدران الصلبة في الخلايا النباتية، وهو يعتبر المركب العضوي الأكثر انتشاراً على كوكب الارض.

في يوم واحد، تنتج النباتات كمية من المواد العضوية تفوق حاجتها. يُخزَّن الفائض في جزيئات النشاء، التي تشكّل احتياطيات. تخزّن هذه المؤونة من الطاقة بشكل أساسي في الجذور والدرنات والفواكه. تنتهي احتياطيات الطاقة لدى النباتات في أغلب الأحيان بتغذية آكلات العشب وآكلات الثمر (الثامرات). ■

هل تعلم؟

في البدء، كان الغلاف الجوي خالياً من الأوكسجين تقريباً. يُعزى التركيز الحالي للأوكسجين الجوي (21%) بالكامل إلى الكائنات الحيّة التي تطلق الأوكسجين، منذ 3,5 مليار سنة، بفضل عملية التركيب الضوئي. إضافة إلى ذلك، يعتبر التركيب الضوئي بشكل مباشر أو غير مباشر مصدراً لجمل المادة العضوية الموجودة على كوكب الأرض تقريباً وبالتالي لكل الكائنات الحيّة التي تسكن الأرض. لذلك تعتبر الأهمية البيئية للتركيب الضوئي إضافة إلى الأثر الذي يمارسه التركيب الضوئي على تطور الجو والمحيط الحيوي أساسيين للغاية.



يعتبر السلولوز، وهو سكر مركب، المكوّن الأساسي لجدار هذه الخلايا النباتية (التي تحتوي هنا على جبيلات يخضور عديدة)، مما يجعله صلباً. السلولوز هو المركب العضوي الأكثر انتشاراً على الأرض.



دور الأزهار

توالد مغلَّفات البزور

يمكن للنباتات أن تتوالد غالباً بطريقة لا جنسية، بواسطة الاستنساخ. لكن لتبادل الجينات فيما بينها، قامت بعض النباتات بابتكار أعضاء جنسية بالغة الجمال ومتميزة الإتقان: إنها الأزهار.



إن هذا العصفور الذي يجني الرحيق، يساهم في التوالد اللاجنسي للنبتة. فاللقاح المحصور في فمه أو على منقاره من نبتة أخرى تنتمي إلى النوع نفسه يوضع في مدقة (طرف عضو التأنيث في الزهرة) هذه الزهرة. وهكذا تتمكن الخلايا الجنسية الذكرية والأنثوية من الاندماج وتوليد بزرة.

تتحدر النباتات من أسلاف مائية اضطرت إلى تغيير نمط توالدها بشكل كبير بغية التكيّف مع مواطن أرضية متعدّدة. لدى معظم الطحالب، تلتقي خلايا من السوطيات وتتوالد في الماء حيث تنمو ذريتها بدون حماية. في المقابل، لدى النباتات المزهرة، حلَّ اللقاح الذي تنقله الرياح أو الحيوانات محل الخلايا السوطية. تكون الأجنّة محميّة في بزور. لكن هناك نباتات أخرى عديدة تتوالد عبر آليات لا جنسية بواسطة الإفتسال. لدى مغلفات البزور، أو بتعبير آخر لدى النباتات المزهرة، تأوي الأزهار

تشكّل سمة الزهرة (الجزء الأعلى من المدقة) منصة هبوط حقيقية لتلقّي اللقاح.

الأعضاء الجنسية، الموجودة في مركزها. إن الحيونات المنوية، الموجودة عند طرف السداة (الأعضاء الذكرية)، محمية في بذار اللقاح، وهذه الأخيرة محصورة في جيوب صغيرة تسمى المئبر. تمثل المدقة العضو المؤنث. إن المبيض الموضوع على كرسي الزهرة الواقع عند طرف الجذع، يحتوي على بذيرة واحدة أو أكثر. تضم كل واحدة منها بييضة غير ملقحة تشكّل الخلية الأنثوية الجنسية بحصر المعنى. يتمدد المبيض بواسطة أنبوب دقيق يعرف بقلم السمّة، وينتهي بالسمّة التي تعتبر منصة هبوط حقيقية لبذار اللقاح. تكون السداة والمدقة محاطتان عامة ببتلات ملونة جداً وظيفتها جذب الحشرات والطيور التي غالباً ما يتعلق بها التأبير. توجد فصلة الزهرة مباشرة أسفل البتلة، وتكون خضراء اللون، تحمي برعم الزهرة.

عندما تستقر بذيرة اللقاح على سمة المدقة، فإنه ينشر أنبوباً يعرف بالأنبوب اللقاحي، ينغمس في قلم السمة. عند طرف هذا الأنبوب، تنقسم خليّة وتعطي حيونين منويين. يلج الأنبوب عندئذ إلى داخل المبيض ويفرغ فيه حيوناته المنوية. يقوم أحدهما بتلقيح البييضة غير الملقحة فتتكون البيضة ومن ثم الفَوْف (الجنين النباتي). يستعمل الحيون المنوي الثاني لإنتاج السويداء، وهو نسيج مغذ جداً، يمد الفَوْف لاحقاً بالغذاء حتى يتحول هذا الأخير إلى بزرة. خلال هذا التغيير، يصبح المبيض ثمرة. إن الثمار التي تنقلها الرياح والحيوانات تحمل البزور حتى تصل إلى مكان إنباتها. وبهذه الطريقة تتمكن جماعة من نوع نباتي معين من الانتقال.

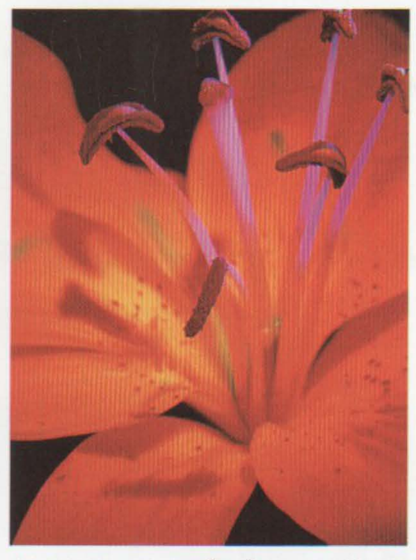
تمتلك النباتات المزهرة آليات متعددة لمنع زهرة من التأبير بلقاحها الخاص. لدى بعض الأنواع، تصل المدقة والسداة إلى مرحلة النضج في أوقات مختلفة. بعض الأنواع الأخرى يمتلك زهوراً يمنع شكلها الحيوان المؤبِّر من تسهيل التلقيح الذاتي.

أرقام

- من بين الأنواع النباتية المعروفة التي يبلغ عددها 270 000، هناك 235 000 نوعاً من الزهريات. أما المجموعات الأخرى المهمة مثل الطحالب (15 000 نوعاً) والسرخسيات (11 000) فإنها تندرج وراءها بمسافة بعيدة:
- تضم السحلبيات لوحدها 24 000 نوعاً.
- ظهرت أول الأزهار قبل 130 مليون سنة.
- تعد الورقية (رافليزيا أرنولدي) أكبر زهرة معروفة حالياً وهي نبتة طفيلية في سومطرة، تشكل بتلاتها اللحميّة والمقززة تويج يبلغ قطره 80 سم ويزن 7 كلغ!

أخيراً طوّرت بعض النباتات عمليات كيماوية حيوية تقاوم تلقيح البييضة من لقاح آت من الزهرة نفسها.

إلى جانب هذا التوالد الجنسي الذي يسمح بالبقاء في بيئات غير مستقرة، يوجد توالد آخر لاجنسي، يتعايش ويسمح بتوليد ذرية في وسط ثابت ومؤات. هكذا فإن الأجزاء المقتطعة من بعض النباتات (الفسول) تمتلك القدرة على تكوين أفراد كاملين، في مكان الأثر الناتج عن قطع الجذع، مثلاً، يتكون تجمّع خلايا غير متميزة يعرف بالكنب. ينتج هذا الأخير جذوراً تجدد النبتة. يشكل الإفتسال النمط الأكثر شيوعاً للتوالد النباتي. بفضل هذا النظام، تولد نبتة أم لمّات تكون متماثلة معها تماماً.



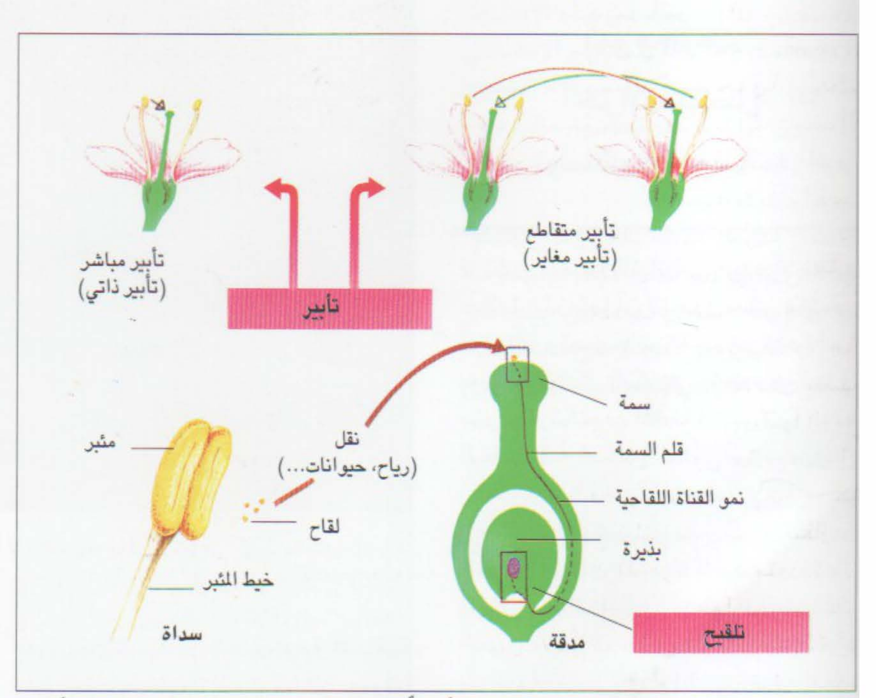
عند طرف السداة أو الأعضاء الجنسية الذكرية، تحتوي بذار اللقاح على الحيونات المنوية المستقبلية. أما المدقة، فإنها تحتضن البذيرات.

تستعمل نباتات عديدة جذورها لتصل إلى النتيجة نفسها. إنها تتمدد في التربة لتصبح بعدئذٍ أنظمة جذرية مستقلة وتولد بهذه الطريقة عدة أفراد. تعرف الجذوع الأرضية التي تقف وراء هذا النوع من الافتسال بالجذمور. وعندما تجري هذه العملية على سطح التربة، كما هي الحال بالنسبة إلى توت الأرض أو الفراولة، فإن الجذوع التي تعرف بالرئد تتمدد بشكل أفقي وتبرز لها جذور على مسافات منتظمة.

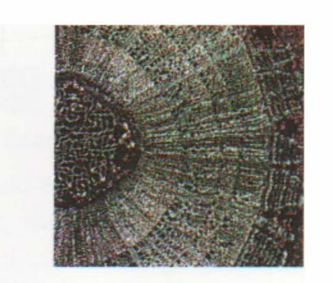
إن التوالد النباتي هو خصب للغاية. فاللّمة التي تعود لنوع عشبي يمكنها أحياناً أن تغطي مرجاً بكامله ولا تسمح لنوع آخر من النمو فيه. إضافة إلى ذلك، إن الذرية الناتجة عن الاستنساخ تكون عادة أقل هشاشة من الكائنات الناتجة عن التوالد الجنسي. منذ زمن طويل، استغل الإنسان هذه القدرة على التوالد النباتي. وهكذا فإن الإفتسال يستعمل لتكاثر معظم النباتات المزهرة. ابتكر المزارعون نوعاً جديداً من الفسل، يعرف بالتطعيم، يقضي بربط جزء من نبتة إلى جذع أو إلى جذور نبتة تنتمي إلى نوع قريب، يشكّل عندئذ هذا الأخير الطُعْم. تسمح هذه التقنية بالحصول على نباتات تتمتع بميزات موجودة لدى النوعين. ■

هل تعلم؟

تنقل الحيوانات أعداداً كبيرة جداً من بذار اللقاح. ينطبق هذا على لقاح نبات ميكرولوما ساجيتاتوم في جنوب أفريقيا. فشكله يسمح له بالانحصار داخل حافة لسان طائر أبو تمرة الذي يشتهي هذا اللقاح. هكذا يسافر اللقاح مخبأً في فم الطائر. وعندما يغمس طائر أبو تمرة لسانه داخل زهرة أخرى، فإنه يطلق اللقاح الذي يخصّبها فيما بعد.



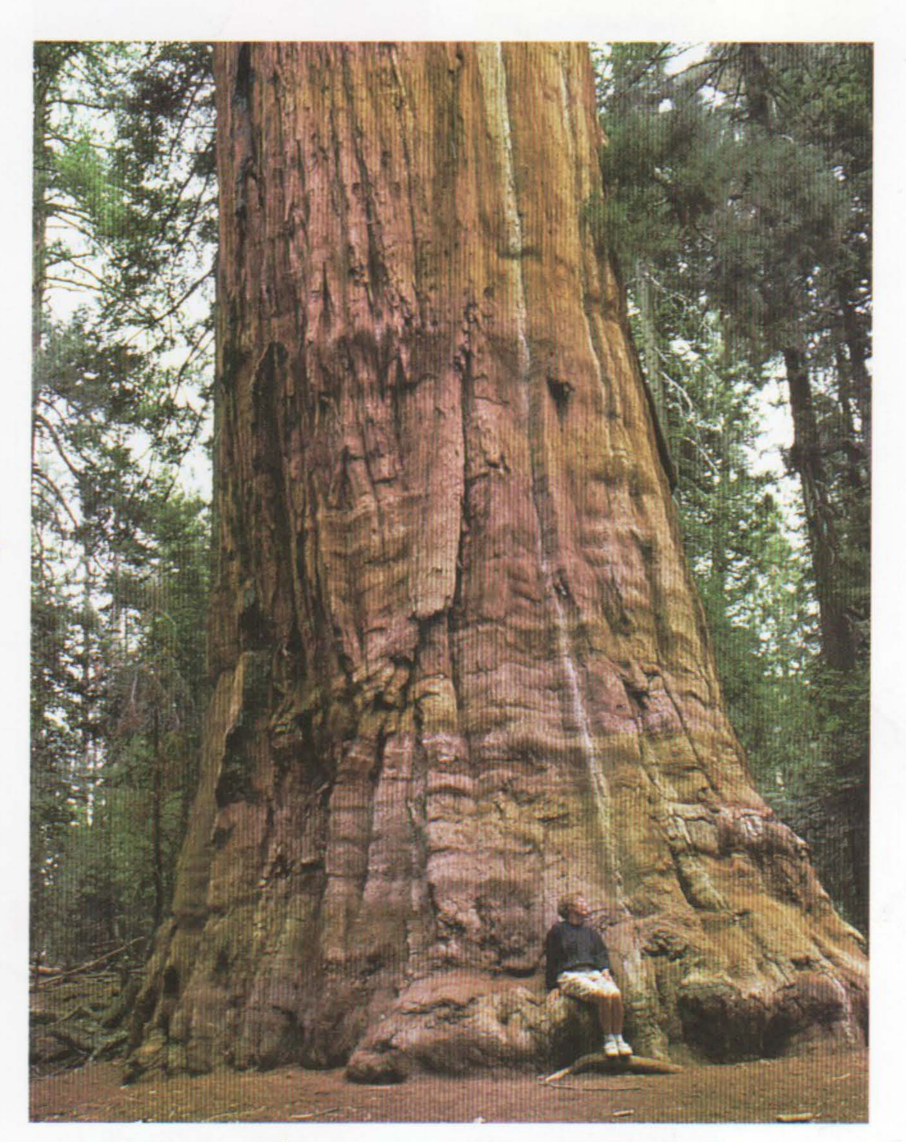
عندما تحط بذيرة اللقاح على قمة المدقة، فإنها تنشر أنبوباً ينغمس حتى يصل إلى البذيرة. على طرف الأنبوب اللقاحي تنقسم خلية إلى حيونين منويين، يقوم الأول بتلقيح البذيرة ليولّد خلية بيضة، تنمو لاحقاً لتصبح فوفاً (جنين نباتي).



من البزرة إلى النبتة

تطوّر النباتات ونموّها

لا تتوقف النباتات أبداً عن النمو. هكذا يمكن للبعض منها أن يتمدّد ويتضخّم حتى يبلغ أرقاماً قياسية. إضافة إلى ذلك، تكيّف النباتات نموها بشكل دائم مع البيئة.



بما أن النباتات تحتوي على أنسجة جنينية دائمة، فإنها لا توقف نموها أبداً، كما أن أشجار السكوا العملاقة التي تعمّر كثيراً، قد يصل ارتفاعها إلى 100 متر.

على عكس الحيوانات، تنمو النباتات وتنتج أعضاءً جديدة (أوراق، جذور، زهور...) طوال حياتها. تعود هذه القدرة إلى وجود أنسجة مضغية نباتية دائمة تُعرف بالأنسجة الإنشائية. بغية المحافظة على نمو مستمر، تنقسم الخلايا الأولية للنسيج الإنشائي بشكل دائم. في المقابل، تتخصص الخلايا المتفرعة عن هذا

الانقسام داخل النبتة أثناء نموها. النمو، تخليق الخلايا، تكوين الأعضاء: هذه هي العمليات الثلاث الهامة الضرورية كي تصبح البزرة نبتة. ينتج النمو عن تكاثر الخلايا وتضخمها. بعد سلسلة من الانقسامات الخليوية، تصبح البيضة مضغة نباتية، في معزل عن البزرة. ومن ثم، بعد فترة من النمو الكامن، تنبت البزرة. يدل هذا الإنبات على بداية سلسلة جديدة من الانقسامات الخليوية، تحدث هذا الانقسامات بشكل رئيسي عند أطراف الجذور والجذع، داخل النسيج الإنشائي. وفي الوقت نفسه، تكبر الخلايا.

تطابق النباتات نمو مختلف أجزائها بفضل رسائل هرمونية.

لا تكون المضغة النباتية في البدء إلا تجمّع خلايا. يلزمها أن تتحول حتى تكتسب أعضاءً وتصبح نبتة صغيرة: هذا ما يعرف بالتشكّل التكويني. ومع وجودها في بزرتها، تكتسب المضغة النباتية بهذه الطريقة شكلين للأوراق، يعرفان بالفلقتين، إضافة إلى جذور وجذع. لن يتوقف هذا التشكّل أبداً، خلال مرحلة نمو النبتة. فهو يحدد مثلاً موقع أوراقها. والشيء نفسه يقال عن تخليق الخلايا، الذي يسمح لكل نموذج من الخلايا بالقيام بأعمال محددة: البعض ينتج نسيج تغليف (السطح) يحمي النبتة من خسارة الماء بالتبخر. والبعض الآخر، يشكّل فتحات

أرقـام

- يمكن لأشجار السكوا العملاقة أن تعيش حتى 6 000 سنة وأن يبلغ قياسها 100 م.
- يـكبر الأرز الأزرق متراً واحـداً كـل عـام ويمكن أن يتراوح ارتفاعه بين 80 و100 م.
- بعض الأنواع من الخيزران العملاق تنمو بمعدل 90 سم في اليوم، أي 4 سم في الساعة. وهكذا يمكنها أن تكبر بمعدل 30م في 3 أشهر ويمكن لطول أوراقها أن يتجاوز 20 متراً.
- يمكـن لجذور شـجـرة تين بـرّي أن تـبلـغ 120م طولاً.

(ثغيرات) تضبط نتح الأوراق. والبعض الآخر أيضاً، يشكّل أوعية موصلة توجه المواد المغذية.

تتعلق طريقة نمو نبتة بموقـع النسيج الإنشائي في الأجزاء الفتية من النبتة، أي عـند أطراف الجذور وفي البراعم، يكـون النسيج الإنشـائي مسـؤولاً عن استطالة النبتة. إنه يسمح للجذور بالتمدد في التربة وللأوراق بزيادة تعرضـها لأشعة الشمس. هـنـاك نسـيـج إنشـائـي آخـر مـوجـود عند محـيط الجذوع والجذور، تحت الـقشـرة مباشرة. إنه ينتج بشكل خاص النسيج الموصـل لـلنسـغ الـتـام (اللـحـاء). لـدى الأشـجـار، هـنـاك جزء مـن هـذه الأنسجة الإنشـائـيـة، يـعـرف بـالـنسـيـج الإنشـائـي الثانوي، يؤمن كذلك نمو سماكة الجذوع والجذور. إن النباتات العشبية خالية منه، وهـذا يـفسّـر سـبب نموهـا الـطـولي وعـدم نموها باتجاه السماكة.

لا تنمو أعضاء النبتة بمعزل عن بعضها البعض. إنها تتواصل فيما بينها ومع بيئتها. وهكذا يمكن لبرعم أن يمنع نمو جيرانه الموجودين أحياناً على مسافة عدة أمتار منه! إن نبتة داخلية تتمكن من

تفسير كلمات

- **النسيج الإنشائي** هـو نسيج جنيني نباتي يتكوّن من خلايا في حالة انقسام.
- يسمح **النسيج الإنشائي القمّي** (نسبة إلى قمة) الموجود عند أطراف الجذور وفي البراعم بتطويل النبتة.
- يسـمـح **الـنسـيـج الإنشـائـي الجـانـبي**، الموجود عند محيط الجذع، تحت القشرة مباشرة، بجعل تكثيف الأشجار ممكناً.

تـوجـيـه كل أوراقـهـا نـحـو الـنـافـذة الأكثـر تـعـرضـاً للشمس، لأن الـخلايـا مـن الجـهـة المعتمة من جذعها تنمو بسرعة أكبر من الخلايـا الأخـرى. وهـكـذا فـإن الـنـبـاتـات تضبط نموها وفقاً للبيئة المحيطة بها.

تـتـكـيّـف الـنـبـاتـات مـع تـغيرات المحيط الموجودة فيه بفضل هرمونات. تـراقب هـذه المراسيـل الـكـيمـاويـة نمو النباتات وتطورها. بفضل قياسها الصغير، تجتاز هذه الجزيئات جدران الخلايا وأغشيتها، لتصل تدريجياً إلى هدفها. إنها تصل إلى كل أجزاء النبتة بواسطة الأوعية التي توصل النسغ التام.

يمكن تمييز خمس عائلات من الهرمونات النباتية: الأوكسين ينشط استطالة الجذور ونموها بشكل خاص. وهو يؤثر كذلك على تـخـلـيـق الخلايـا، والـتشـعّـب والإثـمـار. ويشارك كذلك في الانتحاء الضوئي، أي الـقـدرة الـتـي تمتلـكـهـا الـنـبـاتـات عـلـى الاسـتـدارة نـحو الضـوء. هناك هرمونات أخـرى، هـي الجيبيرولين، تسـاعـد عـلـى الإنبات، والتبرعم واستطالة الجذع ونمو الأوراق. كما أنها تنشط الإزهار والإثمار. أما السيتـوكينين الـذي يُركّب في الجذور، فـإنـه يـؤدي إلى تـكـاثـر خـلايـا الأنسـجـة الإنشائية ونموها في آن معاً، وإلى الإنبات والإزهـار، مـع تـأخير الشـيـخـوخـة. من جـهـتـه، يـتـدخـل الحامض الأبسيسيك خاصة في فترة الجفاف. إنه يمنع النمو ويـطـلـق الخدر (نمو كـامـن) وهـي حـالـة

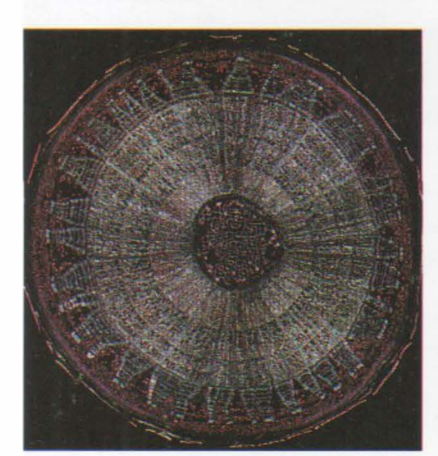
توضيح

تنمو ألياف الخشب لدى صنوبريات عديدة بشكل حلزوني. في نصف الكرة الأرضية الشمالي، يدور الجذع بنفس اتجاه دوران عقارب الساعة، ويتبع الاتجاه المعاكس في النصف الجنوبي. تكون أوراق الأشجار وأغصانها أكثر عدداً من جهة الشمس ـ في الجنوب بالنسبة للصنوبريات في النصف الشمالي وفي الشمال بالنسبة للصنوبريات في النصف الجنوبي ـ وتكون أكثر تعرضاً للرياح الثابتة، التي تأتي دائماً من جهة الغرب ـ حتى لا تنكسر الصنوبريات تحت تأثير هذا الضغط اللاامتماثل، فإنها تنبت إذن بشـكـل حـلـزوني. وفـقـاً لـبـاحـثين نـروجيين، تـتحـكـم جـيـنـات مـعـيـنـة بـهـذه القدرة.

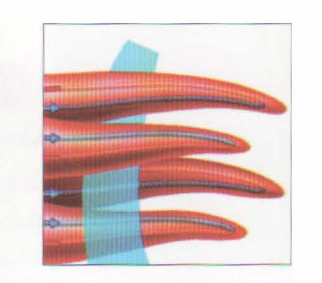
هل تعلم؟

إن النباتات سريعة التأثر ببيئتها، وهي تتواصل فيما بينها وكذلك مع الحيوانات. لمكافحة الحشرات الفتاكة، تنشر النباتات موادَّ متبخرة قادرة على جذب الحيوانات التي تقنص هذه الطفيليات. حتى أن هذا النوع من التواصل هو معدّ جيداً. إن التبغ أو القطن أو الذرة تبعث في الواقع «صيحات شميّة» مبينة وفقاً لطبيعة المهاجم.

تعيش فيها النبتة ببطء. أخيراً الأثيلين، وهـو المرتـبـة الخامسـة مـن الـهـرمـونـات، يسرّع نضوج الثمار ويسبّب سقوطها بعد أن يـكـون قـد أدى إلى نضـوج الـبـتـلات والأوراق. ■



بفضـل المنس الجانبـي الموجـود فـيـهـا، وهـو نسـيـج جنيني نباتي دائم، لا يتوقف جذع الزيزفون هذا عن التكثف.



التنفّس

الخياشيم، أنابيب التنفّس، الرئتان

تحتاج كلّ الحيوانات إلى أوكسجين حتى تبقى على قيد الحياة. وهي تمتلك في أغلب الأحيان أجهزة تنفّس مهيّأة، بهدف استخراج الغاز الثمين من البيئة المحيطة بها. لكن هذه الأعضاء تختلف وفقاً للمقتضيات التي يفرضها المحيط.

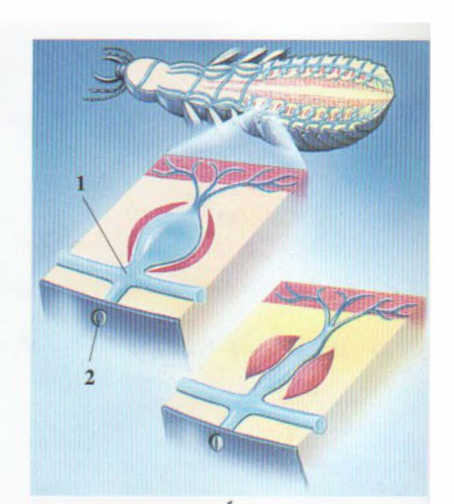


إن دعموص سمندل الماء الظاهر في الصورة، والمزود بخياشيم خارجية، يتمكن من استخراج الأوكسجين الذائب في الماء. وبما أن الخياشيم تحتوي على عدد كبير جداً من الأوعية، فإن الأوكسجين يمر إلى الدم الذي يقوم بنقل الغاز الثمين إلى مختلف أجزاء جسم الحيوان.

إن الخلايا تتنفّس، بغية إنتاج الطاقة الضرورية للقيام بوظائفها: وهي تستهلك الأوكسجين الغازي وتنتج فضلة هي ثاني أوكسيد الكربون، ينبغي أن تتخلص منها. إن التنفس هو إذن ضروري لإمداد الكائنات الحيّة بالأوكسجين اللازم ولتخليصها من فضلاتها الغازية.
تنتشر جزيئات الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون الدقيقة جداً بشكل سلبي عبر الأغشية الخلوية. وهي تمر بالطبع من وسط أكثر تركيزاً نحو وسط أقل غنى. وبما أن البرزويات (حيوانات أحادية الخلية) لا تضم إلا خلية واحدة، فإنها ليست بحاجة إذن إلى عضو خاص لتأمين مبادلاتها الغازية. يظل الانتشار البسيط

إن رئتي الثدييات هي أقل أداءاً من رئتي الطيور.

فعالاً بالنسبة للحيوانات الصغيرة جداً أو المسطحة جداً (ديدان مسطحة مثلاً). لكن الأمر يختلف بالنسبة لحيوان ذي قياس معين، في هذه الحالة يأخذ الانتشار وقتاً كبيراً بسبب وجود عدد كبير من الخلايا الواجب اجتيازها: وبالتالي فإن معظم الخلايا لن تتغذى بالأوكسجين بما فيه الكفاية. لقد أعدّت الحيوانات نظام نقل أسرع بشكل ملحوظ: إنه الدورة الدموية. كما أنها تزوّدت بأعضاء تنفّس قادرة على تأمين المبادلات الغازية مع الوسط المحيط بها وعلى تغذية الدم بالأوكسجين.
تمتلك الحيوانات المائية أجهزة تنفّس فعّالة للغاية، لأن هذا النوع من التبادل يكون أصعب إلى حد بعيد في الماء منه في الهواء: ففي حجمين متعادلين من الماء والهواء، تكون كمية الأوكسجين الموجودة في الماء أقل من كمية الأوكسجين الموجودة في الهواء، كما أن سرعة انتشار الأوكسجين في الماء هي أكثر بطئاً. إضافة إلى ذلك، إن إيصال الأوكسجين إلى الأنسجة التنفسية بواسطة تحريك الماء يستلزم طاقة أكبر مما يستلزمه خلط الهواء.
يمتلك سمندل الماء مثلاً خياشيم خارجية رقيقة جداً ومتشعبة تقدّم مساحة كبيرة للمبادلات الغازية. لكن الخياشيم هي هشّة جداً. لهذا السبب، وخلال التطور، ظهرت تجويفات جسدية لحمايتها (لدى الأسماك، والقشريات ومعظم الرخويات). إن الخياشيم الداخلية للأسماك موجودة بين التجويف الفمّي وأغطية حماية الخياشيم: إنها تتألف من مئات من الخيوط الخيشومية الدقيقة، التي تتألف بدورها من صفيحات دقيقة تمر فيها أوعية دموية كثيرة. بامتصاصها الماء عبر الفم، تخلق السمكة تيار ماء ينتقل عبر خياشيمها ويخرج عبر فتحة أغطية الخياشيم. في الأوعية الدقيقة التي تروي الصفيحات، يمر الدم في اتجاه معاكس لتدفق الماء وبالتالي فإنه يتشبع بالأوكسجين المذاب بفضل الانتشار.
لدى الحيوانات الأرضية، تكون المساحات التنفسية منطوية نحو داخل الجسم، الذي



تمتلك الحشرات أنابيب تنفّس (1) تنفتح على الخارج عبر فوهات تنفسية (2). تقود هذه الأنابيب المتشعبة الأوكسجين مباشرة إلى كل خلايا الحيوان حيث يخترقها إلى الداخل بمجرد انتشار بسيط.

يكون أكثر رطوبة، بغية تجنّب التجفيف. وهكذا فإن الحشرات تتنفس عبر قصبات رئوية تكون عبارة عن أنابيب صغيرة جداً مفتوحة نحو الخارج عبر منافذ، وتتشعب في كل أنحاء الجسم. تصل التشعبات الأكثر صغراً إلى سطح الخلايا، وتنتشر الغازات مباشرة عبر غشائها. لا تستعمل الحشرات إذن جهاز دورتها الدموية لنقل الغازات.

في المقابل، تكون رئتا الفقريات الأرضية (الضفدعيات، الزواحف والثدييات) في تماس مع الدم. يتم تنشق الهواء عبر المنخرين، ثم يمر عبر البلعوم، وينحدر في أنبوب التنفس ثم في الشعبات الرئوية والقصيبات، ثم يصل إلى الحويصلات وهي ردوب تحتوي على أوعية كثيرة تتم فيها المبادلات الغازية بين الهواء والدم. يحمل الدم بعد ذلك الأوكسجين إلى الخلايا. في هذا الجهاز، يدخل الهواء ويخرج عبر نفس المسار. يختلط الهواء النظيف الذي يصل إلى الرئتين مع الهواء المتبقي المحمّل بثاني أوكسيد الكربون والذي لم يخرج عبر الزفير السابق. وهكذا فإن الهواء الذي يبلغ السطح التنفسي يحتوي على كمية أقل من الأوكسجين بالمقارنة مع الهواء الخارجي. إن الرئتين إذن هي أعضاء تنفس قليلة الفعالية نسبياً. لدى الضفدعيات، يتم الحصول على كمية إضافية من الأوكسجين بواسطة الانتشار عبر الجلد الذي يكون رطباً دائماً. لكن لدى الثدييات، فإن التنفس الجلدي هو أقل أهمية بكثير. وبما أنها تستهلك كمية كبيرة من الأوكسجين، تشكل الرئتان حداً تكيفياً. وبالرغم من وجود جهاز تهوئة متقن، يحرّكه الحجاب الحاجز وعضلات القفص الصدري، فإن الثدييات بالنتيجة، تكون عادة غير قادرة على استعمار أوساط فقيرة بالأوكسجين.

كي تتمكن الطيور من التحرك على المرتفعات، حيث يكون الأوكسجين أكثر ندرة، فإنها تمتلك جيوباً هوائية متصلة فيما بينها وتتواصل مع الرئتين. تعمل هذه الجيوب كالمنفاخ الذي يحفظ دفق الهواء في اتجاه واحد عبر الرئتين. يغذي هذا الدفق المستمر من الهواء النظيف الذي يحتوي على كمية الأوكسجين نفسها الموجودة في الهواء الخارجي تقريباً، مساحات التبادل الغازي. بفضل هذا التكيّف، تتمكن بعض الطيور من التحليق على ارتفاع أعلى من قمة إفرست. ■

هل تعلم؟

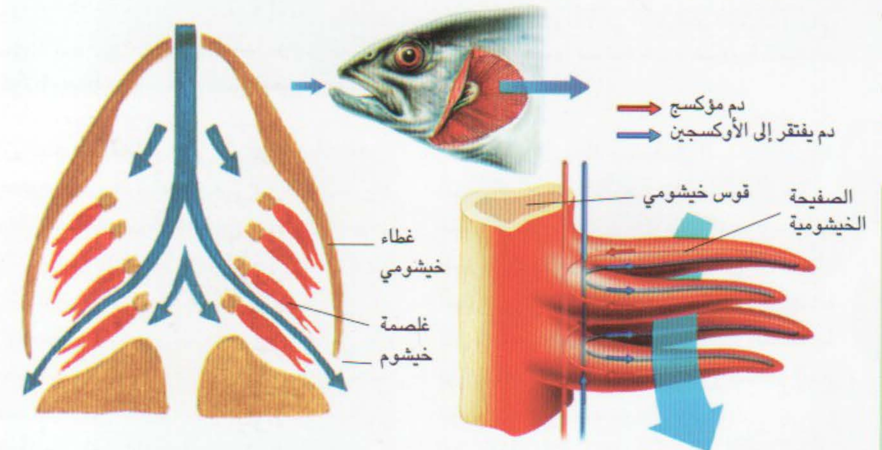
إن الأسماك تختنق في الهواء الطلق، لأن خياشيمها تلتصق ببعضها البعض، مما يصغّر بشكل كبير مساحة التبادل. أما الضفدع فإنه يملأ رئتيه بأخذ الهواء داخل تجويفه الفمّي. إنه يقفل فمه ومنخريه ويرسل الهواء إلى رئتيه رافعاً حنكه. يكرّر هذه العملية عدة مرات متتابعة دون إطلاق الهواء نحو الخارج. لهذا السبب تنتفخ هذه الحيوانات كثيراً.

أرقام

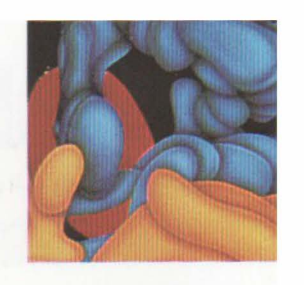
- إن تزويد حيوان لا يمتلك جهازاً تنفسياً، بالأوكسجين في الماء، يظل مؤمّناً طالما أن مسافة انتشار الغاز لا تتعدى الملّيمتر الواحد.
- بفضل جهاز التبادل عكس التيار، تلتقط الخياشيم أكثر من 80% من الأوكسجين الموجود في الماء.
- تحتوي كل رئة بشرية على حوالى 300 مليون حويصلة. وهكذا فإن المساحة الإجمالية للتبادل الغازي تبلغ حوالى 150 متراً مربعاً.
- في الظروف نفسها، يستهلك الضفدع حوالى 0,01 ليتراً من الأوكسجين في الساعة، في حين أن الكائن البشري يستهلك 15 ليتراً من الأوكسجين.

تفسير كلمات

- **الخيشوم** هو امتداد متشعب نحو الخارج، يسمح بإجراء المبادلات التنفسية بين الماء والدم لدى الحيوانات المائية.
- **أنبوب التنفس** هي أنبوب متشعب نحو داخل الجسم يوصل أوكسجين الهواء، لدى الحشرات، مباشرة إلى الخلايا.
- **الرئة** هي ثنية داخلية لمساحة الجسم، تؤمن، لدى الفقريات الأرضية وبعض أنواع العنكبوت، المبادلات الغازية بين الهواء والدم.



بامتصاصها بشكل مستمر تقريباً للماء عبر فمها، تخلق السمكة تيار ماء ينتقل عبر خياشيمها ويخرج عبر فتحة غطاء الخياشيم. يمر الدم بشكل معاكس لتدفق الماء هذا، في الأوعية الدقيقة التي تروي الصفيحات الخيشومية. يزيد هذا النظام بشكل كبير انتقال الأوكسجين من الماء نحو الدم.



الدم، نسيج أصلي

ناقل فعّال

الدم هو نسيج سائل يتنقل عبر مجموعة أعضاء الكائن الحيّ، وهو يؤمّن القيام بوظائف عديدة. وإذا كان يتدخل في نقل الأوكسجين والدفاع عن الكائنات الحيّة ضد الأخماج، فيعود ذلك إلى خلاياه المتخصصة إلى حد كبير.



الكريات الحمراء هي الخلايا الوحيدة لدى الكائنات الحيّة الخالية من النواة (على الأقل لدى الثدييات)، وهي متكيفة جداً لنقل الأوكسجين، لها شكل قرص ثنائي التقعر، وهذا يكسبها مساحة كبيرة ضرورية للمبادلات الغازية، ويسمح لها كذلك بالانسلال داخل الأوعية الأكثر صغراً.

إن الدم هو نسيج، على الرغم من المظاهر. يحتوي على عدة أنواع من الخلايا في مزيج معلّق بداخل سائل صفراوي اللون يعرف بالبلاسما أو مصل الدم. يصل هذا المائع الأعضاء فيما بينها كونه يروي كل أجزاء الجسم. إنه ينقل جزيئات من عضو إلى آخر. يوزع الدم العناصر المغذّية الممتصة عند مستوى القناة الهضمية حتى الخلايا، كما أنه ينقل الفضلات من الخلايا حتى أعضاء التبرّز. وهو يقود كذلك الهرمونات من موقع إنتاجها نحو أمكنة نشاطها.

إضافة إلى ذلك ينقل الدم القوة الهيدروليكية اللازمة لانتصاب القضيب مثلاً. أخيراً، يوزع الجهاز الدموي، لدى الحيوانات الضخمة، الحرارة في كل أنحاء الجسم. وعلى الرغم من كون هذه الوظائف حيوية، غير أنه يمكن تأمينها بواسطة أي مائع آخر. لكن يمتلك الدم ميزات خاصة مصدرها خلاياه.

لدى الفقريات، تنقل الكريات الحمراء أو الكريرات، الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون من الأعضاء التنفسية نحو الخلايا والعكس بالعكس. لهذه الغاية، تحتوي الكريات الحمراء على عدد هائل من جزيئات خضاب الدم، وهو خضاب تنفسي يحتوي على ذرّات حديد قادرة على الارتباط بالأوكسجين. يثبت الهيموغلوبين الأوكسجين عند مستوى الأعضاء التنفسية، رئتان أو خياشيم، حيث يكون تركيز الأوكسجين هو الأعلى. يطلق الهيموغلوبين بعد ذلك حمولته في

تولد كل الخلايا الدموية في النخاع العظمي.

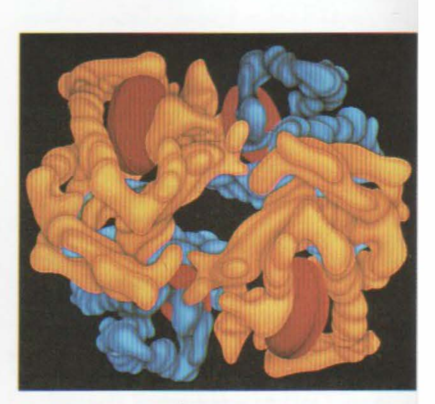
الأنسجة، حيث يكون تركيز الأوكسجين أضعف بكثير.

بتكديسها عدداً وافراً من جزيئات الهيموغلوبين، تزيد الكريات الحمراء لدى الفقريات قدرة الدم على نقل الأوكسجين دون أن تزيد لزوجته بنفس القدر. في المقابل، لدى عدد من اللافقريات، يتنقل الهيموغلوبين بحرية. إضافة إلى ذلك، تمتلك القشريات والحشرات وبعض الرخويات خضاباً تنفسية أخرى مثل اليهموسيانين وهو خضاب أزرق اللون.

بمجرد أن تتخلص هذه الخضاب التنفسية من الأوكسجين الذي تحمله عند مستوى الخلايا، فإنها تتحمّل بالفضلات - ثاني أوكسيد الكربون - لنقلها إلى الأعضاء التنفسية، التي تطرحها خارجاً في الوسط المحيط بها. وهكذا فإن ربع كمية ثاني أوكسيد الكربون التي تطلقها الخلايا،

أرقام

- يحتوي جسم الإنسان على كمية من البلاسما تتراوح بين 4 و6 ليترات...
- تحتل خلايا الدم حوالى 45% من الحجم الدموي.
- يحتوي 1 ملّيليتر من الدم على عدد من الكريات الحمراء يتراوح بين 5 و6 مليون ومن 5 إلى 000 6 من الكريات البيضاء.
- تحتوي كرية حمراء واحدة على 250 مليون جزيئة هيموغلوبين.



يتكون الهيموغلوبين من أربع وحدات فرعية تحتوي كل واحدة على ذرّة حديد قادرة على الارتباط بذرّة أوكسجين. يضاعف الهيموغلوبين 60 مرّة قدرة الدم على نقل الأوكسجين.

يقوم بهذه الرحلة مع الهيموغلوبين. أما الكمية الباقية $\frac{3}{4}$ فإنها تتحد مع جزيئات الماء وتشكل إيونات بيكربونات تتنقل بحرية، في حين أن جزءاً زهيداً من ثاني أوكسيد الكربون يذوب في الدم.

إن شكل القرص الثنائي التقعّر - أكثر ضموراً عند مركزه من أطرافه - الذي يميز الكريات الحمراء، هو متكيّف بشكل خاص: إنه يكسبها في آن معاً مساحة كبيرة للمبادلات الغازية وليونة تسمح لها بالانسلال داخل الأوعية الأكثر ضيقاً.

إن هذه الخلايا ذات القياس الصغير، والخالية من النواة، يتم إنتاجها في النخاع العظمي، وبشكل خاص في الأضلاع، والفقرات وجسم القفص الصدري والحوض. فضلاً عن ذلك، إن النخاع العظمي هو مصدر كل الخلايا الدموية. تقوم خلايا رائدة، هي الخلايا الأصلية المتعددة القدرات، في النخاع العظمي بتوليد الكريات الحمراء، بواسطة عمليات تمايز خلِوي متتابعة، وكذلك توليد كريات بيضاء، تُعرف أيضاً بالكريضات، وتوليد الصفيحات الدموية.

تنتمي الكريات البيضاء إلى النظام المناعي وهي تدافع عن مجموعة أعضاء الكائن الحي ضد الأخماج. يبحث البعض منها عن الخلايا الغريبة ويقضي عليها، والبعض الآخر يلتهم الأجسام الدخيلة، والبقايا والخلايا الميتة أو المتلفة، في حين أن البعض الآخر ينتج الأجسام المضادة. لمكافحة الأخماج، تمضي الكريات البيضاء الجزء الأساسي من وقتها خارج نظام الدورة الدموية. إنها تطوف في السائل الخلالي، الذي تسبح فيه الخلايا، بحثاً عن عوامل مسبّبة للمرض، وإذا تلقّت إنذاراً بواسطة الرسائل الكيماوية التي تطلقها الخلايا الميتة أو المريضة، فإنها تنتقل إلى المواقع المصابة.

من جهتها، تقوم الصفيحات الدموية، التي لا تضم إلا أجزاءً من خلايا، بالتدخل لسدّ الثغرات في جدران الأوعية. وهكذا، كلما لامست صفيحة دموية ألياف الكولاجين - مكونات الأوعية - العارية، فإنها تتحرك. إنها تنتفخ وتأخذ شكلاً غير منتظم وتصبح لصوقاً. تطلق عندئذٍ عدداً من المركبات الكيماوية تُعرف بعوامل التخثر، التي تنذر بقية الصفائح الدموية. تأتي هذه الأخيرة لتلتصق في مكان الثغرة مشكلة سدادة مؤقتة، تُعرف بالبثرة الغلوبولينية. في الوقت نفسه، تحرك بعض عوامل التخثر بروتيناً من البلاسما يُعرف بمولّد الليفين يتحول إلى ليفين. تختلط ألياف الليفين ببعضها وتشكّل خثارة دموية تسدّ الثغرة نهائياً. ■

هل تعلم؟

يعود لون الدم الأحمر لدى الثديات إلى الحديد، الذي يربط الأوكسجين داخل خلايا الهيموغلوبين أو خضاب الدم. أما القشريات فإنها مزوّدة بالصباغ التنفسي أو الهيموسيانين. لتثبيت الأوكسجين، يكون هذا الخضاب التنفسي مجهزاً بذرّات نحاس تلون الدم باللون الأزرق.

توضيح

لا يتوقف النخاع العظمي أبداً عن إنتاج الخلايا الدموية. لدى الإنسان يتمكن النخاع العظمي من استبدال 150 ملياراً من الكريات الحمراء كل يوم. يجب القول إن مدة حياة هذه الخلايا هي قصيرة نسبياً: إنها تموت بعد 120 يوماً.

تفسير كلمات

- **الكريات الحمراء**، التي تعرف كذلك بالكريرات أو إيريتروسيت تحتوي على **الهيموغلوبين** وهو خضاب تنفسي يثبت الأوكسجين ويسمح بنقله.
- **الكريات البيضاء** أو كريضات تتكون من عدّة أنواع خليوية. وهي تتدخل جميعها في حماية مجموعة أعضاء الكائن الحي من الأخماج.
- **الصفيحات الدموية** هي أجزاء من خلايا تتدخل في آليات التخثر.



تؤمن خلايا الدم وظائف متعددة. من أعلى إلى أسفل ومن اليمين إلى اليسار، يتدخل الغلوبولين في التخثر. تؤمّن الكريات الحمراء المبادلات الغازية. تشكّل الكريات المتعددة النوى الفجرية والناصلة إضافة إلى الكريات اللمفاوية جزءاً من النظام المناعي الذي يدافع عن مجموعة الأعضاء ضد كل ما هو دخيل على الجسم.



الدورة الدموية

ضخ وتوزيع في كل أنحاء الجسم

بغية نقل جزيئات معينة بين الخلايا البعيدة، يملك معظم الحيوانات جهاز دورة دموية، هو عبارة عن شبكة توزيع حقيقية تتكوّن عامة من أوعية ومضخّة.

تملك كل الحيوانات، باستثناء الأكثر بساطة منها، أجهزة خاصة تؤمن نقل الجزيئات: العناصر المغذية، الفضلات، الهرمونات، الغازات التنفسية... تتكوّن هذه الأجهزة بشكل عام من شبكة مغلقة من الأقنية. ولكن لدى بعض الحيوانات، تفتح هذه الدوائر على بقية الجسم. وفي كل الحالات، تتجهز أجهزة الدورة الدموية بمضخات، يحافظ عملها على استمرار حركة المائع.

يسمح قلب الثدييات الذي يتكون من أربعة تجويفات بفصل الدم الغني بالأوكسجين عن الدم الخالي منه.

إن جهاز الدورة الدموية، لدى مفصليات الأرجل وغالبية الرخويات، غير مقفل في أقنية: يغمر الدم الأعضاء بشكل مباشر. وهو لا يتميّز إذن عن السائل الموجود بين الخلايا والذي تستمد منه هذه الاخيرة عناصرها المغذية وتطرح فيه فضلاتها. يدفع هذا المائع غير المتميّز الذي يعرف بالهيمولف، نحو الأنسجة بواسطة دوافع عديدة، هي عبارة عن قلوب أوّلية توجد على مسافات منتظمة على طول وعاء دموي ظهري وحيد ينفتح على بقية الجسم. يتبع الهيمولف إذن دورة محدودة.

تمتلك دودة الارض هي الأخرى عدة قلوب لكن جهاز دورتها الدموية مقفل، لا يترك الدم الأوعية أبداً وهو ينتقل من الأمام إلى الخلف والعكس بالعكس، عبر وعائين ضخمين،

رئة

الشريان الرئوي

الوريد الرئوي

الدورة الرئوية

الوريد الأجوف

الجهاز اللمفاوي (القناة الصدرية)

الشريان الأورطي

القلب

الكبد

الشريان الكبدي

الدورة الجهازية

وريد باب الكبد

المعي الدقيق

حوض بيكيت

الكلية

أعضاء

أوعية دموية شعرية

أوعية شعرية لمفاوية

يسمح قلب الثدييات الذي يتكوّن من أربعة تجويفات بفصل الدم الغني بالأوكسجين عن الدم الخالي من الأوكسجين. ترسل الجهة اليسرى من القلب بسرعة كبيرة نحو الأعضاء دماً غنياً بالأوكسجين، في حين أن الجهة اليمنى من القلب تُرجِع الدم الخالي من الأوكسجين وتقوده نحو الرئتين.

تفسير كلمات

- تصل **الدورة الدموية** الرئوية الرئتين بالقلب، في حين أن الدورة الدموية الجهازية تصل القلب بكل بقية الأعضاء باستثناء الرئتين.
- **الشريان** هو وعاء دموي ينقل الدم من القلب نحو عضو معين. **الوريد** هو وعاء دموي يُرجِع الدم من عضو معين (بما فيها الرئتين) نحو القلب.

واحد ظهري والآخر بطني، متصلان ببعضهما بواسطة خمسة أزواج أخرى من الأوعية. يقوم الوعاء الظهري بوظيفة القلب الرئيسي، في حين أن الأزواج الخمسة الأخرى من الأوعية، التي تعرف بالقلوب الجانبية، تلعب دور مضخات مساعدة.

لأجهزة الدورة الدموية المقفلة عدة حسنات. فإضافة إلى النقل السريع للعناصر الصغيرة، تؤمن هذه الأجهزة بقاء خلايا خاصة وجزيئات ضخمة في الدم، مما يمنح هذا السائل عدة وظائف أساسية (نقل الأوكسجين والهرمونات، مناعة، تخثّر). تملك كل الفقريات جهاز دورة دموية مقفل.

من الأسماك إلى الثدييات، مروراً بالضفدعيات والزواحف والطيور، يصبح جهاز الدورة الدموية أكثر تعقيداً. من مجموعة إلى أخرى، يرتفع عدد التجويفات القلبية وتنفصل الدورة الدموية تدريجياً إلى دائرتين اثنتين، الأولى تذهب نحو المساحات التنفسية - إنها الدورة الرئوية -، وتروي الأخرى بقية الجسم - إنها الدورة الجهازية. إن الشرايين هي التي تنقل الدم، عند مخرج القلب، في حين أن الأوردة هي التي ترجعه إليه.

للأسماك قلب ذو تجويفين، ولكن لا يوجد فيه إلا دائرة واحدة. يتلقى الأذين الدم من الجسم، ويرسله إلى البطين الذي يدفعه عندئذٍ نحو الخياشيم. عند هذا المستوى، ينتقل الدم في أقنية صغيرة متعددة، مما يخفض ضغطه وسرعة دورانه. هذا الدم الغني بالأوكسجين الذي يترك الخياشيم ينتقل إذن ببطء نحو بقية الأعضاء. إن فعالية هذا النقل هي ضعيفة.

يوجد لدى الضفادع والعلاجيم انفصال جزئي للدورتين الرئوية والجهازية، بفضل وجود قلب ذي ثلاثة تجاويف: أذينان وبطين واحد، يصل الدم الغني بالأوكسجين إلى الأذين الأيسر ويُدفع عبر البطين في الجزء الأكبر من الدورة الجهازية. تعيد هذه الأخيرة الدم الخالي من الأوكسجين نحو الأذين الأيمن ومن ثم نحو البطين، حيث يتم ضخه مجدداً باتجاه الرئتين والجلد من جهة، ونحو بقية أجزاء الجسم من جهة أخرى. إن الدم، الذي يُضخ مرتين، يروي الأعضاء بشكل أسرع. ولكن في البطين الوحيد لدى الضفدعيات، يمتزج الدم الغني بالأوكسجين مع الدم الخالي منه.

كادت الزواحف أن تجد حلاً لهذه المشكلة مع الحاجز الذي يقسم جزئياً بطينها الوحيد. أما الطيور والثدييات من جهتها، فلديها قلب ذو أربعة تجويفات، أذينين وبطينين منفصلين تماماً. يحافظ القلب إذن على انفصال كامل بين الدم الغني بالأوكسجين والدم المحمل بثاني أوكسيد الكربون.. إضافة إلى ذلك، يختلف ضغط الدم بين الدورة الرئوية والدورة الجهازية: يوزع الأذين الأيسر والبطين الأيسر على الأعضاء دماً شريانياً ذي صبيب مرتفع، غني بالأوكسجين، في حين أن الجهة اليمنى من القلب تتلقى الدم الوريدي الخالي من الأوكسجين وتقوده نحو الرئتين. ■

هل تعلم؟

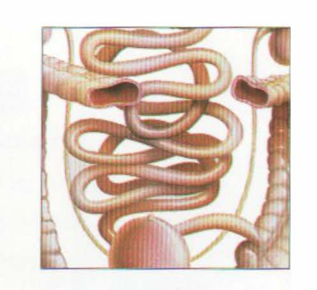
للزرافة قلب ذو قدرة كبيرة، باستطاعته دفع الدم إلى ارتفاع 3 أمتار، حتى الرأس. لتجنب إتلاف الدماغ بسبب الضغط الدموي الهائل، وخاصة عندما تنحني الزرافة لتشرب، جهزت رقبتها بشبكة معقدة من الشرايين الصغيرة، تعرف «بالشبكة المدهشة»، يخضع فيها ضغط الدم لانخفاض شديد.

أرقام

- عند كل انقباض، يُخرِج البطين الأيسر لدى الإنسان نحو الشريان الأورطي 70 ملليتر من الدم، وبالتالي فإن المنسوب القلبي في حالة السكون، ومع معدل نبض يبلغ 75 نبضة في الدقيقة، يكون 5,25 ليتراً في الدقيقة.
- ينبض قلب فيل 25 نبضة في الدقيقة، وينبض قلب الذبابة (فأر الزّباب) 600 نبضة في الدقيقة.



خلال مراحل تطور الفقريات، يصبح القلب أكثر تعقيداً. يزداد عدد التجويفات وتنفصل الدورة الدموية إلى قسمين بشكل تدريجي: الدم الغني بالأوكسجين من جهة، والدم المحمّل ثاني أوكسيد الكربون من جهة أخرى.



التغذية والهضم

تلبية الحاجات الغذائية

كي تحصل على الطاقة وعلى المواد المكوّنة لغذائها، تمتلك الحيوانات جهازاً هضمياً يقوم بتحليل الأطعمة إلى جزيئات بسيطة. تمرّ هذه العناصر المغذّية بعد ذلك إلى الدم وتتوزّع على الخلايا.



حتى تتغذى، تبتلع معظم الحيوانات أطعمة ضخمة، إنها تبتلع أحياناً فرائس كاملة، مثل هذه الأصلة (ثعبان كبير) التي تلتهم هذا الظبي الأفريقي (أمبالا). سوف تحتاج إلى وقت طويل لتحويل فريستها إلى جزيئات أولية انطلاقاً منها تكوّن بروتيناتها ودهنياتها وسكرياتها الخاصة.

على عكس النباتات، يتوجب على الحيوانات أكل كائنات حيّة أخرى من أجل الحصول على الطاقة والمواد اللازمة لإعداد أنسجتها والمحافظة عليها. إذا كان النظام الغذائي وطريقة الحصول على الغذاء والقدرة على هضمه تتغيّر وفقاً للحيوانات، إلا أنها بحاجة جميعها إلى سكريات وبروتينات ودهنيات وفيتامينات. هكذا، فإن آكلات العشب تقتات بالنباتات، كما أن الكواسر (آكلات اللحم) تستهلك حيوانات أخرى، في حين أن القوارت (آكلات كل شيء) تأكل الاثنين. للوصول إلى هذه الغاية، يدخل البعض منها الأطعمة إلى معدته بواسطة الترشيح. تسمى هذه الحيوانات آكلات الأجسام المجهرية. تستعمل القفّالات (جنس محار) والمحار مثلاً خياشيمها لالتقاط الجسيمات المغذية العالقة في ماء البحر. تتغذى الحيتان، التي لا تملك أسناناً، من الجمبري (الكريل) والأسماك الصغيرة. وهي تسبح مفتوحة الفم من أجل تصفية كميات ضخمة من الماء عبر شاربيها. بعض الحيوانات تعيش من جهتها على مقربة من مصدر غذائها، - وحتى في داخله -. هكذا فإن دود الأرض تشق طريقاً بابتلاعها التربة التي تستخرج منها المواد العضوية المتحللة جزئياً. تلجأ الأرقات والعلقات والبعوض والطنّان والنحل إلى آلية لإدخال المأكولات إلى معدتها بامتصاص سائل غني بالعناصر المغذية (نسغ، دم، نكتار أو رحيق...). لكن طريقة الاستهلاك الأكثر

مع كل نظام غذائي يتطابق جهاز هضمي.

انتشاراً لدى الحيوانات تقضي بابتلاع قطع كبيرة من المأكولات أو حتى فرائس بأكملها.

مهما يكن من أمر، نادراً ما تتمكن الحيوانات من الاستفادة مباشرة من السكريات أو البروتينات أو الدهنيات التي تدخلها إلى معدتها. فهذه الجزيئات شديدة الضخامة لدرجة تحول دون اجتيازها أغشية الخلايا. إضافة إلى ذلك، لا تكون هذه الجزيئات، بالضرورة متشابهة مع جزيئات الحيوان. غير أن كل هذه الجزيئات تنتج عن تجمّع عناصر أكثر بساطة ومتماثلة من كائن حي إلى آخر. وهكذا فإن الميدية (بلح البحر) أو الفيل تكوّنا بروتيناتهما انطلاقاً من الحوامض الأمينية العشرين نفسها. ينبغي على الحيوان إذن، من أجل إعداد مكوناته أن يحلل أطعمته ليسترجع الجزيئات البسيطة التي تتكوّن منها هذه الأخيرة: إنها عملية الهضم.

أرقام

● يبلغ طول أمعاء الإنسان 8 أمتار، وأمعاء الحصان 30 متراً، ويتجاوز طول أمعاء البقرة 50 متراً. أما أمعاء الكواسر (آكلة اللحم) فهي أقصر من ذلك بكثير: يبلغ طولها فقط لدى الهر 1,5 متراً وعلى العكس، فإنها تبلغ 7,5 متراً لدى الأرنب.

● إن معدة الإنسان قليلة الحجم (تبلغ سعتها من 1 إلى 1,5 ليتراً)، في حين تبلغ سعة معدة الثور بتجويفاتها الأربعة 250 ليتراً!

● يبلغ معدل ما يستهلكه الإنسان من طعام في اليوم 1 كلغ، أما الأسد فـ 7 كلغ والفيل 150 كلغ (نصف هذه الكمية تهضم فقط).

● يمكن للأصلة (ثعبان كبير غير سام من ثعابين المناطق الحارة) أو للتمساح أن يظلا عدة أسابيع، وحتى عدة أشهر، دون تناول الغذاء. على العكس، يمكن للمصّاصات، وهي خفافيش تتغذى حصرياً من الدم، أن تموت تماماً من الجوع في أقل من 24 ساعة!

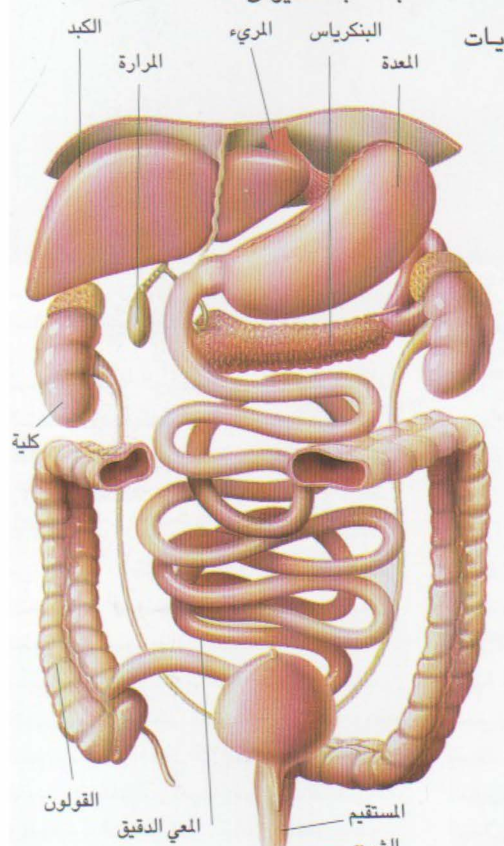
تقوم العصارات الهضمية بتجزئة الجزيئات، بفضل أنزيمات. تحتجز هذه العصارات الفعالة جداً في تجويف متخصص بغية عدم مهاجمة الخلايا الخاصة للحيوان. إن الأجهزة الهضمية الأكثر بساطة هي تجويفات وعائية معوية تتواصل مع الخارج عبر فتحة واحدة. إن العدارات الرئوية (ـ طائفة من اللاحشويات البحرية ـ مرجان ورئة البحر)، والديدان المسطحة والإسفنج مجهزة بها. داخل التجويف، تفرز الخلايا التي تغطي جدرانه الأنزيمات الهضمية، ثم تمتص الجسيمات الأولية.

لدى كل بقية الحيوانات، يتكوّن الجهاز الهضمي من أنبوب يُفتح على الخارج عند طرفيه: الفم يُدخل الأطعمة، في حين أن الشرج أو باب البدن يصرّف الفضلات. على طول مسارها، تمر الأطعمة في مناطق مختلفة، تتميز بأنواع مختلفة من الخلايا. لدى غالبية الأنواع، تقوم بعض أجزاء القناة الهضمية بوظائف مماثلة بالرغم من أنها متكيفة مع الأنظمة الغذائية المتعددة للحيوانات. وهكذا يصل الطعام الذي دخل عبر الفم ثم عبر البلعوم، وفقاً للنوع، إلى الحوصلة أو إلى القانصة أو إلى المعدة ـ توجد هذه التجويفات الثلاثة لدى بعض الحيوانات. تخزّن الحوصلة الأطعمة، وهي موجودة لدى أنواع عديدة ـ ديدان الأرض، حشرات، طيور... ـ في حين أن القانصة ـ موجودة في الوقت نفسه لدى الحلقيات والطيور ـ والمعدة تقومان بمضغ الأطعمة. تخترق القطع الصغيرة الناتجة عن المضغ قناة طويلة هي الأمعاء، حيث تقوم فيها الأنزيمات الهضمية بتحليل الأطعمة. ثم تعبر العناصر المغذية الناتجة غشاء الأمعاء المخاطي وبعدها يمتصها الدم، وتصرّف الفضلات عبر باب البدن.

إذا كان الجهاز الهضمي للفقريات المختلفة يتضمن اختلافات وفقاً للنوع حول نفس المضمون، فإن نظامها الغذائي فرض عليها بعض التكيفات. فآكلات العشب والقوارت (آكلات كل شيء) لها قناة هضمية أطول من تلك الموجودة لدى الكواسر أو آكلات اللحم. يسمح هذا بعملية هضم أبطأ ومساحة أكبر لامتصاص العناصر المغذية. إن هضم السلولوز الذي يشكّل المكوّن الأساسي للنباتات، هو من الصعوبة بحيث يجعل الحيوانات غير قادرة عليه! حتى يتمكن من هضم السلولوز، يمتلك العديد من آكلات العشب «غرف تخمير» حقيقية (كرش الحيوانات المجترّة، مثلاً) تأوي داخلها بكتيريا، يقوم عالم النبات المجهري هذا بتحليل السلولوز إلى سكريات بسيطة تم تحويلها إلى عناصر مغذية أساسية بالنسبة للحيوان. ■

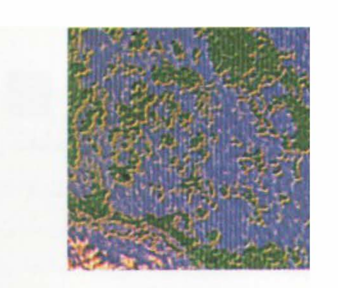
هل تعلم؟

إن «العناصر المغذية الأساسية» هي جميعها مركّبات ينبغي أن تندرج حكماً في النظام الغذائي للحيوان. تتكوّن الدهنيات من حوامض دهنية وغليسيرول، أما البروتينات فتتكون من تسلسل حوامض أمينية. من بين النماذج العشرين من الحوامض الأمينية التي تدخل في تشكيل البروتينات، البعض منها فقط (من 5 إلى 10 وفقاً للأنواع) يعرف بالأساسي: إنها الأنواع التي لا يتمكن الحيوان من تكوينها بنفسه انطلاقاً من جزيئات بسيطة.



غشاء مصلي
زغابات
زغابات مجهرية
عضلات
غشاء مخاطي
خلايا ماصّة

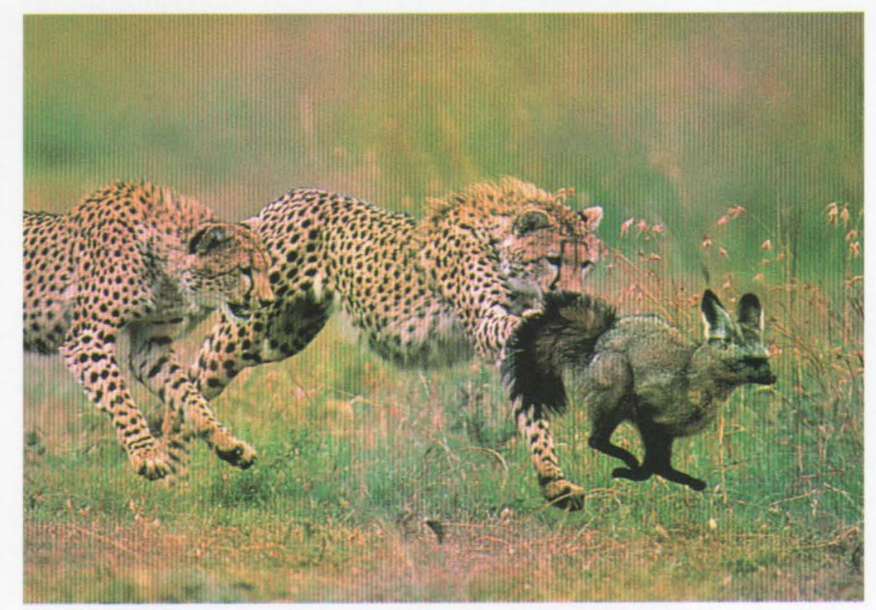
خلال عبورها القناة الهضمية، تتحلل المأكولات تدريجياً. عند مستوى الزغابات المعوية الدقيقة في المعي الدقيق (إلى اليسار) تنضم الجزيئات الصغيرة إلى الدورة الدموية.



إدارة الطاقة

ضبط معدّل السكر، أمر ضروري

حتى تتمكّن الخلايا من إجراء مجمل تفاعلاتها، يتوجّب عليها أن تتموّن بالغلوكوز باستمرار. كما أن الكائن الحيّ يسعى جاهداً للحفاظ على كمية ثابتة من السكر الذي يجري في الدم، علماً أن السكر هو الوقود الأساسي للخلايا.



خلال عملية المطاردة، تستهلك عضلات هذه الفهود وطريدتها، أي الثعلب ذي الأذنين الكبيرتين، كثيراً من الطاقة. لذلك يجب أن تتموّن الخلايا العضلية بشكل منتظم وبوفرة «بالوقود» أي بالغلوكوز.

تُجري الخلية الواحدة، في كل ثانية، آلاف التفاعلات الكيماوية الحيوية. إنه عمل شاق، يحتاج إلى إمداد مستمر بالطاقة. ولإعداد مختلف مكوّناتها، تحتاج الخلية كذلك إلى مواد بناء. تأتي كل هذه العناصر من هضم الأطعمة. هكذا فإن الحوامض الأمينية الناتجة عن هضم البروتينات تتجانس مع لبنات تسمح لاحقاً ببناء بروتينات أخرى. أما الدهنيات، من جهتها، فتشكل مصدراً للطاقة ويتم تخزينها في أغلب الأحيان لسد حالات نقص محتملة، أما بالنسبة للسكريات وخاصة الغلوكوز، فإنها تمثل وقوداً ممتازاً تستهلكه الخلايا بتميُّز لإنتاج ثلاثي فوسفات الأدنوزين ATP، وهي جزيئة غنية بالطاقة تستعملها كل الكائنات الحية.

تحافظ الكائنات الحيّة على معدل ثابت للغلوكوز أو «الوقود الخليوي» في الدم.

هكذا تدير الكائنات الحية طاقتها بضبط كميات الغلوكوز التي تزوّد خلاياها. يسلك هذا الوقود، لدى الحيوان، طريق الدورة الدموية حتى يصل سريعاً جداً إلى الخلايا المحتاجة إليه.

إن ضبط الاستقلاب الطاقوي يعني إذن إدارة كميات الغلوكوز التي تجري في الدم، أي سكريّة الدم. تجدر الإشارة إلى أن الحيوانات لا تتغذى باستمرار. بعد كل وجبة، ينقل الدم كمية كبيرة من السكر يحاول الكائن الحي أن يحفظها بمعدل ثابت.

حتى تصل الثدييات إلى هذا الهدف، فإنها تمتلك عضواً جوهرياً هو البنكرياس، الضابط الرئيسي لسكريّة الدم (والذي يفرز فضلاً عن ذلك أنزيمات هضمية). تنتج بعض خلايا البنكرياس، المتّحدة بشكل خليّات (تعرف بخليّات لانغرهانس) رسائل كيماوية أو هرمونات. يرتبط توازن سكريّة الدم بالمعايرة الدقيقة بين هذه الرسائل. عندما ينقص السكر، يفرز البنكرياس الغلوكاغون، وهو هرمون يبلّغ الكائن الحي بوجوب رفع تركيز السكر في الدم بصورة ملحّة. وعلى العكس إذا كانت سكرية الدم مرتفعة جداً، فإن البنكرياس يطلق الأنسولين وهو هرمون تكون رسالته متعارضة تماماً مع رسالة الغلوكاغون. يحث هذا الهرمون الخلايا على استهلاك الغلوكوز. وبالتالي على إنتاج ثلاثي فوسفات الأدنوزين ATP الضروري.

عند تلبية حاجات الخلايا إلى الطاقة، يأتي دور عضو آخر هو الكبد للبدء بالعمل. في الواقع، لتجنب وصول الخلايا لاحقاً إلى حالة نقص في الوقود، يفرض الأنسولين على الكبد بتشكيل أول مخزون احتياطي منه. تجمّع إذن الخلايا الكبدية جزيئات الغلوكوز لإنتاج الغليكوجين (سكّر الكبد). وإذا بقي فائض إضافي من السكر في الدم، فإن الأنسولين يملي على الكائن الحي بالادخار الإضافي. لهذه الغاية، يحشد الهرمون الخلايا الشحمية التي تخزّن الغلوكوز بشكل شحوم تعرف

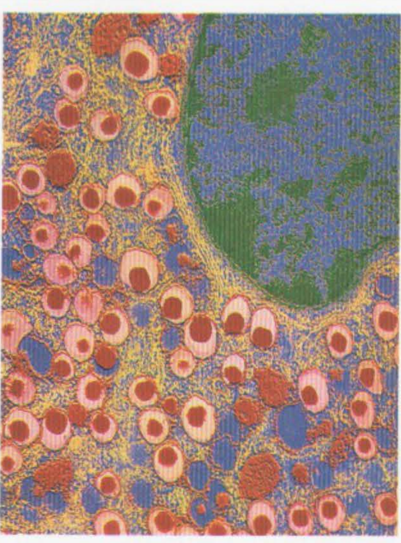
تستهلك الحيوانات الصغيرة تناسبياً طاقة أكبر من الحيوانات الضخمة.

بالتريغليسيريد. شيئاً فشيئاً ينخفض تركيز الغلوكوز في الدم إلى مستوى حرج. تبدأ الخلايا عندئذٍ بطلب السكر. لقد حان الوقت لاستعمال الاحتياطيات. كما أن البنكرياس يرسل الغلوكاغون في الدم. يملي هذا الهرمون على خلايا الكبد بتحويل مخزونها من الغلوكوجين إلى غلوكوز، ثم تقوم خلايا الكبد بالغرف من النوع الثاني من الاحتياطي أي التريغليسريد، وهي تتمكن من إنتاج الغلوكوز انطلاقاً من هذه الاخيرة. عندئذٍ يفرغ الكبد كل هذا السكر في الدورة الدموية.

تختلف حاجات الخلايا كثيراً وفقاً لنشاط الحيوان، أثناء الصيد أو الهرب، تستهلك الخلايا العضلية كثيراً من الطاقة، وبالتالي كثيراً من الغلوكوز. تقوم عندئذٍ هرمونات عديدة، مثل الأدرينالين بزيادة إطلاق السكر من قبل الكبد. في حالة السكون، تكون الحاجات أقل. ولكن، في كل الحالات، يجب على الحيوان قطعاً أن

أرقام

- لدى الثدييات، تحتفظ سكرية الدم دائماً بقيمة تقارب 1 غ من الغلوكوز في ليتر الدم، مهما كانت كمية السكر التي تحملها الأطعمة.
- تقاس القيمة الطاقوية لطعام معين بوحدة جول. يطلق 1 غرام من الدهنيات حوالى 38 كيلوجول، أي أكثر من ضعفي كمية الطاقة التي يطلقها 1 غ من السكريات.
- 1 غرام من وزن فأر يستهلك طاقة تفوق بحوالى 10 أضعاف ما يستهلكه 1 غ من وزن فيل.
- بفضل الطاقة الموجودة في 1 غ من السكريات، يستطيع رجل أن يمشي، نظرياً، مسافة 85 متراً، وأن يقود دراجة (على أرض مسطحة) مسافة 120م، وأن يهرول مسافة 60م أو.... أن يرتاح لمدة 3 دقائق و10 ثوان!



في البنكرياس، تفرز خليّات لا نغرهانس الجلوكاغون أو الأنسولين، وهي الهرمونات التي تضبط معدل السكر في الدم.

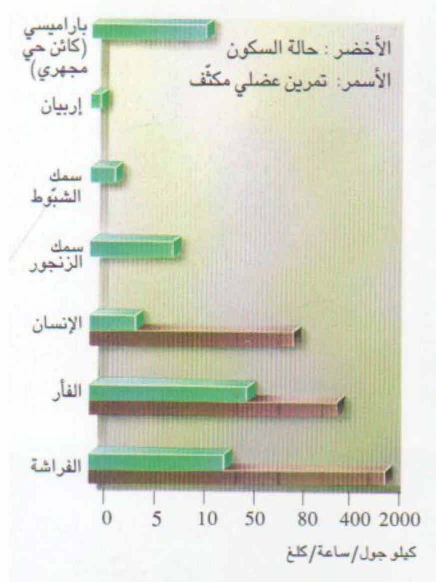
يحافظ على بعض الوظائف: التنفس، نبضات القلب، الحفاظ على درجة حرارة الجسم لدى بعض الحيوانات... إن استهلاك الطاقة في حدها الأدنى، الضرورية لمجرد الحفاظ على هذه الوظائف الحيوية، يشكّل الاستقلاب القاعدي.

يقاس الاستقلاب القاعدي لحيوان بوسائل غير مباشرة. في الواقع، تستهلك الخلايا الأوكسجين والغلوكوز لإيجاد جزيئات طاقوية. وهكذا بقياس كمية الأوكسجين المستعملة من قبل الخلايا، يصبح بالإمكان تقدير استقلاب فرد معين. لكل ليتر من الأوكسجين المستهلك، ينتج التنفس حوالى 20 كيلو جول من الطاقة.

إن الاستقلاب القاعدي للحيوانات الصغيرة هو بوضوح أعلى من الاستقلاب القاعدي للحيوانات الضخمة، لأن حاصل قسمة المساحة على الحجم لدى الفئة الأولى أعلى من نفس الحاصل لدى الفئة الثانية. إنها تخسر كمية أكبر من الحرارة وبالتالي طاقة أكثر. إضافة إلى ذلك، بغية الحفاظ على درجة حرارة أجسامها ثابتة، تستهلك الطيور والثدييات كمية أكبر من الطاقة. لهذا السبب يبتلع فأر الزبّاب كل يوم كمية من الطعام يبلغ وزنها عدة أضعاف وزن الحيوان. ■

هل تعلم؟

يتغير متوسط الاستقلاب القاعدي لدى الإنسان، وفقاً لوزنه، من 400 5 إلى 500 7 كيلوجول في اليوم. هذه الحاجات الطاقوية هي أقل من استهلاك الطاقة لمصباح كهربائي عادي قدرته 100 واط! أما الاستهلاك الإضافي (عضلي بشكل رئيسي) فيتعلق بالنشاط الجسدي: لا يستهلك رجل ممدد طول النهار إلا 000 2 كيلوجول إضافية، في حين أن الرياضة الرفيعة المستوى تتطلب أحياناً إضافة يومية تزيد على 000 10 كيلوجول!



إن استهلاك الطاقة يتغير كثيراً من مجموعة إلى أخرى (يكون ضعيفاً لدى الأسماك والقشريات، وكبيراً لدى الثدييات والحشرات) وهو بالمقارنة أكثر ارتفاعاً لدى الأنواع الصغيرة الحجم.

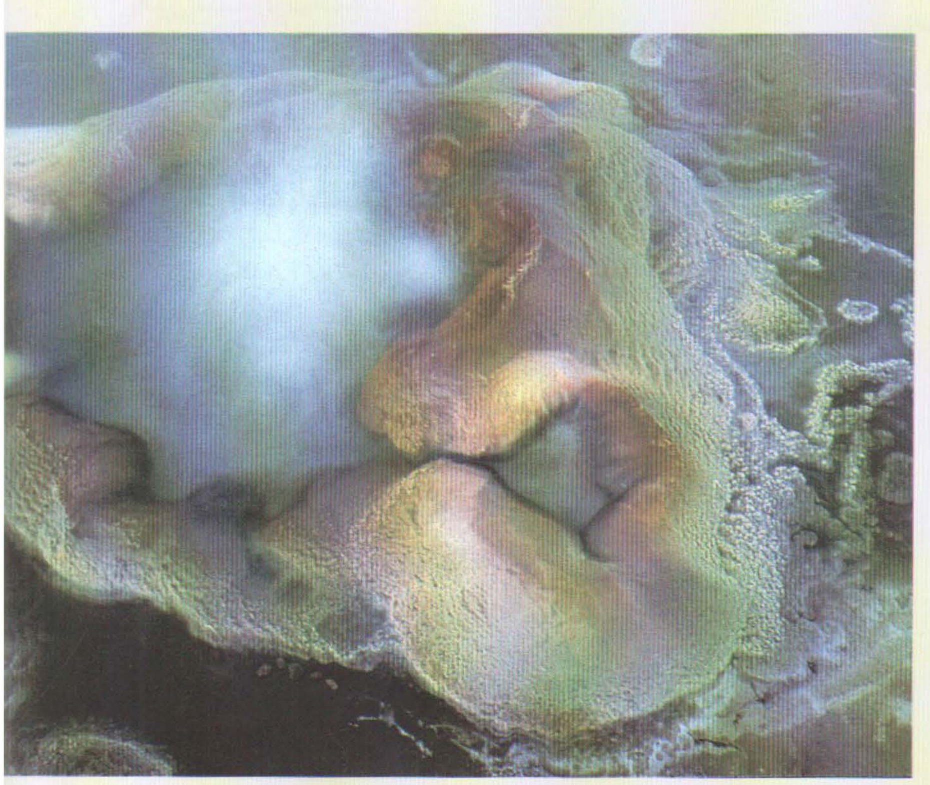
تفسير كلمات

- **الاستقلاب** يعني مجموعة التفاعلات الكيماوية الحيوية.
- **الاستقلاب القاعدي** لحيوان معين يعني الاستقلاب الضروري للمحافظة على وظائفه الحيوية. يقاس في حالة السكون، واليقظة (يستهلك الدماغ كمية أكبر من الطاقة في حالة اليقظة مما يستهلك خلال الأحلام!)، وعلى الريق (يتطلب الهضم طاقة إضافية).

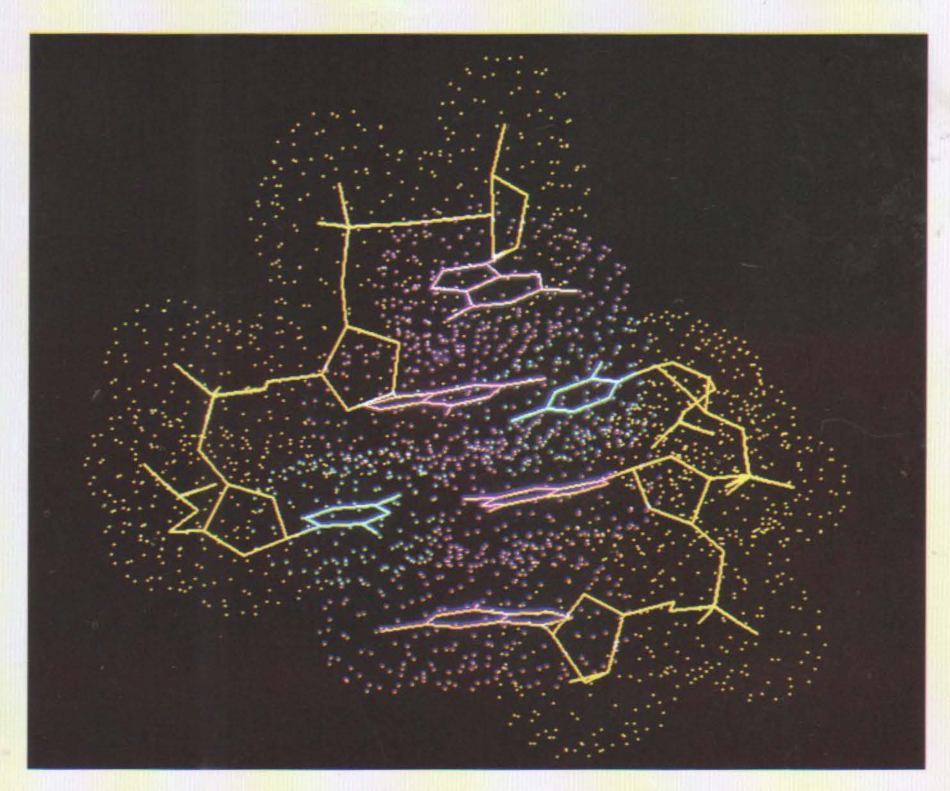


الحرّ أو البرد

آثار درجة الحرارة



■ بالرغم من أن درجة الحرارة تتغير بنسب كبيرة على سطح كوكب الأرض، فإن الحياة قد تطورت في معظم الأوساط الأرضية. غير أن درجة حرارة البيئة لها آثاراً هامة على الوظائف البيولوجية. لقد تكيّفت الكائنات الحيّة، وفقاً لطبيعتها بشكل مختلف مع هذه الفروقات في درجة الحرارة. إن الغالبية العظمى من الخلايا، وهي الوحدات الأساسية لكل كائن حي، تموت على درجة حرارة أدنى من الصفر المئوي أو أعلى من 45 درجة مئوية. تعتبر درجات الحرارة هذه، الحدود الحرارية لمعظم الوظائف الخليوية، وبالتالي للحياة. غير أن بعض الكائنات الحيّة تتمكن، بفضل تجهيزات نوعية، من البقاء على قيد الحياة في حالة التجمد، في حين أن بعض البكتيريا «المحبة للحرارة بإفراط» تقاوم درجات حرارة تتجاوز المئة درجة مئوية، قرب المنابع الكبريتية البركانية (انظر الصورة المقابلة).



■ تتوقف سرعة تفاعل كيماوي حيوي على درجة الحرارة. في الواقع، إن فعالية الأنزيم الذي يحفّز هذا التفاعل مرتبطة ببنيته الحيزية الخاصة. إلا أن تغيراً في درجة الحرارة يمكن أن يؤدي إلى تغيير في شكل الأنزيم، مما يترجم بفقدان ملموس جداً لفعاليته. بشكل عام يبطئ البرد الاستقلاب، في حين أن الحرارة يمكن أن تسرّعه بشكل كبير. غير أن ارتفاعاً في درجة الحرارة لا يزيد بنفس النسب سرعة كل التفاعلات. يمكن أن يؤدي ذلك إلى إخلال التوازن الداخلي للكائن الحي. كما أن البرد يؤدي بالتعاقب إلى: تبطيء للنبضات القلبية، ضعف التقلصات العضلية، انخفاض في البث العصبي (يمكن أن تنقسم سرعة التدفق العصبي على 4)، وفقدان الوعي، ثم الوفاة.

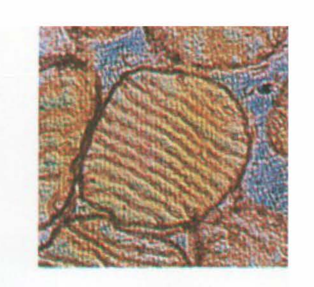


■ تمر الحرارة دائماً من الجسم الأكثر سخونة نحو الجسم الأكثر برودة. وبالتالي فإن كل تغيّر في درجة حرارة البيئة المحيطة يمكن أن يغيّر درجة حرارة الجسم لدى الكائن الحي. للحفاظ على توازن داخلي، ينبغي على الكائنات الحيّة إذن أن تتدارك أو أن توازن هذه التغيرات في درجة الحرارة. إن الثدييات والطيور هي ثابتة الحرارة: إنها تحفظ استقرار درجة حرارتها الداخلية. لكن بعض الأنواع تضبط «مثبّت حرارتها» على عتبة معينة يمكن أن تتغير خلال العام. هكذا فإن المرموط (حيوان لبون قاضم ينام طوال الشتاء) أو السمامة السوداء ينقصان درجة حرارة جسمهما عندما يسبتان. أما متغيّرات الحرارة - مثل الزواحف - فإنها تغيّر درجة حرارتها الجسدية وفقاً للبيئة.



■ كما أن الحيوانات تُصنّف وفقاً لقدرتها على إنتاج الحرارة أو تصريفها. لتحافظ على درجة حرارتها الداخلية أعلى من درجة حرارة البيئة المحيطة، تكون الحيوانات المكتسبة الحرارة خاضعة لمصادر حرارة خارجية مثل الشمس. أما الحيوانات الداخلية الحرارة فهي قادرة على إنتاج الحرارة، وتقوم بحرق شحومها لهذه الغاية. وحدها الثدييات والطيور هي داخلية الحرارة وكل بقية الحيوانات هي مكتسبة الحرارة.

■ كل الحيوانات متكيّفة تماماً مع الوسط الذي تعيش فيه، وهي تتمكّن من ضبط درجة حرارتها الجسدية بفضل تشكّلها ووظائف أعضائها وسلوكها، وهكذا فإن معظم الحيوانات التي تعيش في المناطق الباردة هي كبيرة ومزوّدة بفرو أو بريش كثيف، في حين أن الحيوانات التي يتوجب عليها الوقاية من الحرارة الشديدة هي عادة صغيرة. فالعظاية (أو الضبّ) كالهر الأليف يبحثان عن مجاري الهواء أو يتجنبانها، يغيران وضع جسمهما أو يعدلان اتجاهه بالنسبة للشمس.

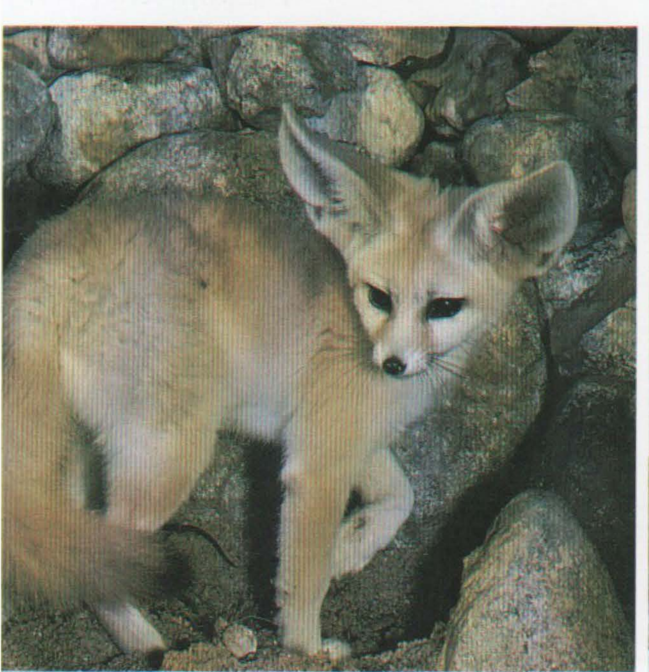


التحكّم بدرجة حرارة الجسم

تلقّي الحرارة، تبديدها، المحافظة عليها

بغية الحدّ من آثار درجة الحرارة الخارجية على أجسامها، تراقب الحيوانات درجة حرارة جسمها. حتى إذا اختلفت استراتيجيات هذه المراقبة، فإن كل الحيوانات تمتلك قدرات تكيفيّة تشكّليّة، وفيزيولوجية، وبيوكيماوية وسلوكية.





بفضل شكل مستطيل، وأذنين كبيرتين وفرو ناعم، يتحمّل ثعلب الصحراء (إلى اليسار) الحرارة بصورة أفضل. أما ابن عمه الثعلب القطبي (إلى اليمين) فإنه أكثر استدارة وله أذنين صغيرتين وفرو كثيف.

حتى تتكيّف الحيوانات مع درجات حرارة تكون أحياناً شديدة تجتاح البيئة التي تعيش فيها، فإنها تتمكن من موازنة آثار درجة الحرارة الخارجية أو المحافظة على درجة حرارتها الخاصة على مستوى ثابت. في الحالة الأولى كما في الحالة الأخرى، تراقب الحيوانات درجة حرارة جسمها وذلك بتغيير مبادلاتها مع الخارج وفي الوقت نفسه بتغيير إنتاجها الخاص للحرارة.

تمتلك معظم الحيوانات وسائل محدودة لضبط درجة حرارتها الجسدية: لذلك ينبغي عليها أن تلائم سلوكها، على سبيل المثال عظايات المناطق الصحراوية. إذا كانت مختبئة داخل جحور أو مختفية في الرمل، في ظل حجر كبير، فإنها تظل بلا حراك خلال ساعات اشتداد السخونة، بغية الحد من إنتاجها للحرارة.

تمتلك الثدييات والطيور «مثبِّتاً طبيعياً للحرارة».

في المقابل، تمتلك الطيور والثدييات «مثبِّتاً حقيقياً للحرارة» موجوداً في الدماغ، ومضبوطاً على درجة حرارة معينة للدم تكون مرجعاً. فإذا كان الجو بارداً في الخارج، يبرد الدم الذي يروي الجلد، مما يؤدي إلى هبوط درجة الحرارة العامة للدم قليلاً. يستجيب الدماغ بإعطاء الأمر إلى الكائن الحي بتخفيف فقدان الحرارة وزيادة الإنتاج الحراري. عندما يكون الجو حاراً، تنطلق العملية المعاكسة. تحفظ هذه الحيوانات إذن درجة حرارتها الداخلية ثابتة. بعض الحيوانات الأخرى، مثل المرموط لديها «مثبِّت للحرارة يمكن ضبطه»: إنها تغيّر درجة الحرارة المرجع لجسمها وفقاً للفصل. في الشتاء، تهبط درجة حرارتها من 38 درجة مئوية في الأصل، إلى 3 درجات مئوية وتحتفظ بهذه القيمة لعدة أيام أو عدة أسابيع. إن هذه الثدييات التي تنام نوماً عميقاً تدخل في حالة سبات. بهذه الطريقة تنقص استهلاكها للطاقة إلى النصف، مما يسمح لها بمواجهة فترات البرد والقحط الطويلة.

أرقام

- بفضل فروهما، يتمتع الثعلب القطبي الشمالي أو كلب مركبة الجليد بعزل حراري بحيث إنهما لا يرتعشان إلا عندما تهبط درجة حرارة الهواء إلى ما دون 20– أو 30– درجة مئوية تحت الصفر.
- لمقاومة البرد، يغرف البطريق (أو الطرسوح) الإمبراطوري الشحم من الاحتياطي الذي يملكه. عندما يكون معزولاً، فإنه يخسر 0,2 كلغ في اليوم. وعندما يتجمع مع أفراد جماعته، فإنه يخسر في اليوم 0,1 كلغ فقط.
- لدى الثدييات، تحافظ درجة حرارة الجسم بشكل عام على قيمة تتراوح بين 36 و39 درجة مئوية وفقاً للنوع. أما درجة حرارة جسم الطيور فهي أكثر ارتفاعاً: من 38 إلى 42 درجة مئوية.
- حتى تقاوم البرد في الشتاء بشكل أفضل، تكتسي الطيور الصغيرة بريش أكثر كثافة (يسمح لها بتحقيق اقتصاد في الطاقة يتراوح بين 10 و15 بالمئة) ويرفع استقلابها بنسبة 40 بالمئة.

بغية ضبط درجة حرارتها، تقدم الحيوانات أنواعاً مختلفة من التكيّف. إن حاصل قسمة مساحة الجسم على حجمه له دور أساسي. تكون مساحة التبادل مع الخارج أكبر كلما ارتفع حاصل القسمة المذكور. لهذا السبب نلاحظ أن الحيوانات التي يتوجب عليها المحافظة على حرارتها هي ضخمة ومربوعة. في المقابل نجد أن الحيوانات الصغيرة التي يكون حاصل القسمة (المساحة / الحجم) أكبر، تمتلك مساحة جسدية أكبر لتصريف الحرارة. كما أنها أكثر تكيفاً مع بيئات ساخنة.

إضافة إلى ذلك، غالباً ما تكون أذناها كبيرتين لتبديد حرارتها. (الفنك أو ثعلب الصحراء، القواع البرّي، أو حتى الفيل). إن الحيوانات المتكيفة مع البرد تزيد كذلك عزلها الحراري بفضل الفرو أو الريش الكثيف، المبطن بطبقة سميكة من الشحم. يتعزز هذا العزل الحراري بوظائف الأعضاء. فاستجابة إلى البرد، ينتصب الشعر أو الريش فيحصر طبقة من الهواء تسخن بسهولة. إن منسوب الدم الجلدي هو تحت المراقبة.

أثناء الحر، يصرف تمدد الأوعية حرارة الدم نحو الجلد ثم نحو الخارج. وعلى العكس يؤدي انقباض الأوعية إلى التقليل من هذا الانتقال أثناء البرد. إضافة إلى ذلك، تنتج الثدييات والطيور الحرارة بالارتعاش. إن مجمل الطاقة الناتجة عن تقلص عضلاتها يطلق بشكل حرارة.

إن الأنواع المتكيفة مع حالات البرد الشديدة إضافة إلى الحيوانات التي تدخل في سبات تنتج كذلك الحرارة دون ارتعاش بفضل شحم خاص يعرف بالنسيج الشحمي الأسمر. إن الخلايا التي يتكوّن منها هذا النسيج هي من نوع يختلف عن الخلايا التي تكوّن الشحم العادي. إنها لا تنتج طاقة إنما كمية كبيرة من الحرارة.

إن أفضل طريقة للتأقلم مع درجة الحرارة الخارجية ترتكز على السلوك، مثل سلوك البطريق (أو الطرسوح) الإمبراطوري. فهذه الحيوانات مجهّزة بشكل رائع ضد برد الشتاء الجنوبي على الجليد الساحلي في المناطق القطبية الجنوبية، وتقوم بالتقارب بعضها من بعض، مما يصغّر بشكل كبير حاصل القسمة (المساحة / الحجم). إن الحيوانات التي يتوجب عليها مقاومة الحرارة الشديدة لها أيضاً سلوك متكيّف. تكون وتيرة نشاطها معكوسة بشكل عام: إنها تخرج أثناء الليل. وفقاً لفترات النهار، تغيّر الحيوانات وضعية جسمها واتجاهه بالنسبة لأشعة الشمس. حتى تصرف الحرارة، تقوم الثدييات باللهاث والتعرّق. يزيد التبخر عندئذ فقدان الحرارة لكن هذه الطريقة قليلة الفعالية ولا تستعمل إلاّ في الحالات الملحّة، لأن الماء ثمين في الأوساط الحارة التي تكون في أغلب الأحيان جافة.

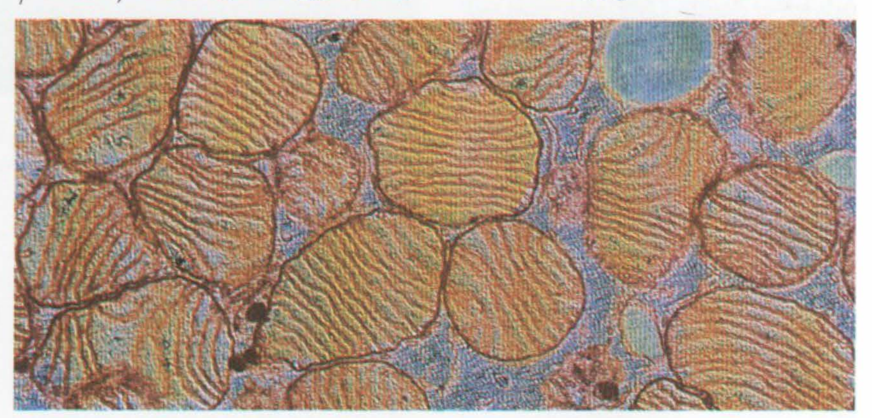
أخيراً، إذا أصبح الوسط لا يُحتمل، يبقى الهرب وسيلة للخلاص: كل خريف، يترك أكثر من 100 مليون طير برد كندا باتجاه جزر الكاريبي وأميركا الجنوبية. ■

هل تعلم؟

كي تقاوم البرد الشديد، هناك حيوانات مائية عديدة مجهزة «بشبكات مدهشة» تعرف بـ«مبدّلات الحرارة المعاكسة للتيار»: إنها موجودة بشكل رئيسي في زعانف الحوتيات أو في جدعات الطراسيح (طيور بحرية)، وهي تعتبر مناطق تماس ضيقة بين الشرايين التي يمر فيها الدم الحار والأوردة التي ترجع الدم البارد. إنها تجنّب قلب الحيوان من أن يتلقى دماً بارداً جداً.

توضيح

تقاوم بعض الأنواع الجليد بالانسحاب من مناطق تواجده في حين أن البعض الآخر يتكيف معه. وهكذا فإن دم بعض الضفدعيات وأسماك المناطق القطبية الجنوبية يحتوي على جزيئة مضاد التجمّد. في المقابل، تسمح التكيفات البيوكيماوية لبعض الأنواع بالبقاء على قيد الحياة في حالة تجلّد. ان التبلّر البطيء والمُراقب للسوائل الموجودة خارج الخلايا يحفظ كمال الخلايا. وهكذا فإن بعض الضفادع وحتى العظاية تمضي الشتاء على هذه الحالة. إن الحالة الأكثر غرابة هي حالة حشرة من نيوزيلنده تتجمّد ليلاً كل يوم وتذيب الجليد كل صباح.



يملك النسيج الشحمي الأسمر حبيبات خيطية خاصة، وهي ميزة للأنواع المتكيفة مع البرد. تنتج هذه المصانع الصغيرة للطاقة الموجودة في الخلايا كميات كبيرة من الحرارة.



مراقبة ماء الجسم

التوازن بين ما يخسر الجسم من ماء وما يتلقاه

تواجه الحيوانات، وفقاً للبيئة التي تتواجد فيها، حالات فقدان أو تلقي الماء قد تهدّد بقاء خلاياها على قيد الحياة. إضافة إلى ذلك، ينبغي أن تظل مختلف المواد الذائبة في ماء الجسم في حالة تركيز شبه ثابتة.



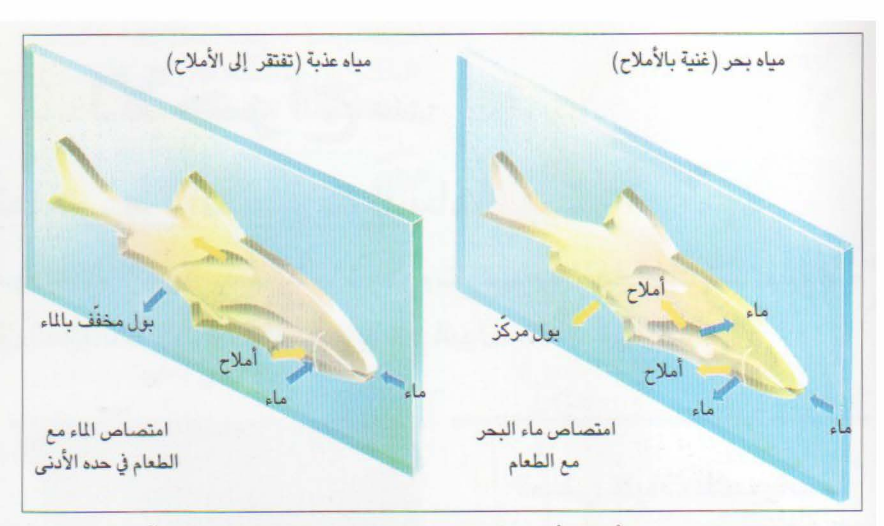
خلال مراحل تطورها، استعمرت بعض الضفدعيات، مثل هذا الشرغوف (ضفدع الشجر) ساكن الأشجار في البيرو، أوساطاً بعيدة عن الماء. وبغية مقاومة الجفاف، وضعت هذه الأنواع آليات خاصة لحفظ الماء.

عندما يعيش حيوان ما في المياه العذبة، أو في المياه المالحة أو على اليابسة أو في الهواء، لا يمكن لخلاياه أن تقاوم تلقّي أو فقدان كميات كبيرة من الماء. فإذا اخترق الماء الخلية بكميات كبيرة جداً، فإن الخلية تنتفخ ثم تنفجر. وإذا خسرت الخلية كمية كبيرة من السائل، فإنها تجفّ رويداً رويداً وينتهي بها الأمر إلى أن تنكمش تماماً. في كلتا الحالتين، يحدث الموت.

لتدارك هذه الظواهر، تتميز أحجام السوائل الجسدية التي تغمر الخلايا، وكذلك تركيز المواد المذابة فيها بثبات واضح. إن تركيز المواد، أو بتعبير أصح، التركيز التناضحي (أي عدد الجسيمات الموجودة في المحلول - مهما كانت طبيعتها أو أبعادها - في وحدة قياس حجم الماء)، تكيّف في الواقع حركات الماء. ينتشر الماء بشكل سلبي دائماً من المحلول الأقل تركيزاً نحو المحلول الأكثر تركيزاً، إلى أن يصل إلى توازن تركيز الأجزاء المذابة. إنها ظاهرة التناضح. على سبيل المثال، إذا كان التركيز التناضحي الداخلي لخلية أعلى من تركيز الوسط الموجود خارج الخلية، فإن الماء يدخل إلى الخلية عبر الغشاء. في المقابل، إذا كان التركيز التناضحي لداخل الخلية وخارجها متكافئاً يكون التناضح معدوماً. ينتشر الماء من مقصورة إلى أخرى لكن الداخل والخارج يتعادلان.

وهكذا فإن كميات الماء المتلقاة والمفقودة من قبل الكائن الحي تتعلق في الوقت عينه بوسطه الداخلي وبيئته المحيطة. لتجنّب انفجار خلاياها أو تقلّصها، على الحيوانات إذن أن تحفظ بشكل ثابت التركيز التناضحي لمختلف سوائلها الجسدية، مهما كانت التغيرات الخارجية. إنها تمتلك لهذه الغاية آليات ضبط تحفظ، ضمن حدود ضيقة ودقيقة، سلسلة من العناصر الفيزيائية الكيماوية للوسط الداخلي (تركيز تناضحي، وكذلك حموضة، درجة حرارة، إلخ...). إن استقرار المؤشرات الفيزيائية والكيماوية للوسط الداخلي، والذي يعرف بالضبط الذاتي، هو ميزة أساسية للحيوانات الراقية، جعلتها مستقلة نسبياً عن التغييرات البيئية، فسمحت لها بغزو كل الأوساط تقريباً.

بالطبع، إن المحافظة على الانضباط الذاتي والتوازن بين كسب الماء وفقدانه لا تنطوي على المعنى نفسه بالنسبة لسمك الماء العذب أو لحيوان ثديي في الصحراء.



في المياه العذبة، يتوجب على الأسماك أن تصرّف الماء الذي يدخل إلى جسمها باستمرار وأن تحتفظ بالمواد المذابة: لذلك فهي تُخرج بولاً مُخففاً. في مياه البحر، يحدث العكس، للحفاظ على الماء وإفراغ الأملاح، تخرج الأسماك أحجاماً صغيرة من البول المركّز.

على الحيوانات الأرضية أن تقاوم الاجتفاف.

إن معظم اللافقريات المائية لا تضبط التركيز الداخلي للأجسام المذابة فيها، فهو مماثل لتركيز بيئتها لذلك يجب أن يكون إذن مستقراً. في المقابل، باستطاعة الأسماك أن تتحمل فوارق كبيرة في تشكيل موئلها. لذلك تحفظ التركيز التناضحي لوسطها الداخلي على مستوى يختلف عن التركيز التناضحي للبيئة: إنها تعرف بالمنظّمات التناضحية.

يتوجّب على أسماك المياه العذبة (تشكّل المياه العذبة تحديداً وسطاً يقل فيه تركيز المواد المذابة) أن تفرغ باستمرار المياه التي تخترق جسمها بالتناضح، مع احتفاظها بأملاحها المعدنية. كما أنها تفرغ باستمرار كميات كبيرة من البول المخفف كثيراً. وهكذا تخسر هذه الكائنات الحية موادَّ هامة مذابة بغية البقاء على قيد الحياة، وهي تعوّض عن هذه الخسائر بإمداد نشِط عبر خياشيمها. في المقابل، تطرح الحياة في مياه البحر المشكلة المعاكسة: ينتشر الماء سلبياً انطلاقاً من الوسط الداخلي للسمكة باتجاه مياه البحر، حيث تكون الأملاح أكثر تركيزاً فيها بشكل واضح. حتى تحتفظ بمائها وتفرغ الأملاح، تخرج الأسماك البحرية كميات قليلة من البول المركّز نسبياً. بالإضافة إلى ذلك، تقوم الأسماك بموازنة خسائرها بشرب الكثير من مياه البحر ومن ثم بإزالة الملح من داخل الكائن الحي عبر خياشيمها أو عبر غدد أملاح موجودة في أمعائها المستقيمة.

خلال مراحل التطور، انطلقت بعض الحيوانات المائية لتغزو الوسط الهوائي. واجهت عندئذٍ مشكلة إضافية: التجفاف. إن قدرة الحيوانات الأرضية على التأقلم تتعلق في الواقع بقدرتها على الاحتفاظ بالماء. وبشكل تدريجي أصبح جلد هذه الكائنات الحية غير منفذ، وبعد ذلك، أصبح جهاز الإخراج (الذي يتمثل بالكليتين) شيئاً فشيئاً معقداً بحيث يتمكن من تركيز البول إلى أقصى حد. وهكذا تتمكن الفقريات الأرضية بصرف كميات كبيرة من الفضلات في حجم صغير من الماء. ولمقاومة التجفيف، فإنها تشرب وتدخل إلى معدتها أطعمة تحتوي على الكثير من الماء. إضافة إلى ذلك، تخضع كل أنظمة الضبط هذه إلى المراقبة بشكل دقيق عبر المسالك العصبية والهرمونية. ■

تفسير كلمات

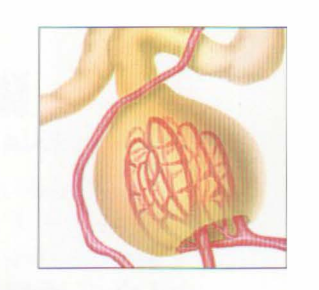
- **الضبط الذاتي** يمثل الحفاظ على سلسلة من العناصر الفيزيائية الكيماوية من شأنه أن يضمن ثبات الوسط الداخلي لكائن حي مهما كانت التغيرات في البيئة المحيطة.
- **التركيز التناضحي** هو التركيز الإجمالي للأجسام المنحلّة في سائل، مهما كانت طبيعة وحجم هذه الأجسام. تعتبر جزيئة الغلوكوز جسماً واحداً، لأنها لا تتفكك في الماء، في حين أن جزيئة كلورور الصوديوم - ملح البحر - تعتبر جسمَيْن، لأنها تتحلل في الماء إلى إيون صوديوم وإيون كلورور.
- **التناضح** هو الانتشار التلقائي للماء من مقصورة قليلة التركيز بالمذاب نحو مقصورة أكثر تركيزاً.

هل تعلم؟

إن بطل التأقلم مع تغيرات الملوحة هو حيوان صغير ينتمي إلى القشريات يعرف بأرتيميا سالينا. بإمكانه أن يعيش في بحيرات شاطئية يكون تركيز الأملاح فيها مساوياً لجزء من عشرة من تركيز الأملاح في مياه البحر، كما أنه يستطيع أن يعيش في المياه المشبعة بالأملاح في البحيرة المالحة الكبيرة في أوتاه بالولايات المتحدة. والتي تبلغ ملوحتها رقماً قياسياً يساوي 300غ في الليتر!

أرقام

- تحتوي الخلايا على الماء بنسبة تتراوح بين 70 و95 بالمئة.
- يحتوي داخل الخلايا على 70% من كمية الماء الإجمالية الموجودة في الكائن الحي. إن اللمفا الخلالية الموجودة بين الخلايا (سائل يغمر الخلايا) تمثل حوالى 25%. ولا يمثل حجم الماء في الدم إلا 0,5% (لدى بعض الأسماك) حتى 7% (لدى الثدييات) من الماء الإجمالي.



الإخراج

التخلّص من الفضلات السَّامة

يُنتج هضم بعض الجزيئات، الأمونياك، وهو أحد مشتقات الأزوت السّامة للغاية. إذا كانت معظم الأسماك تتخلص منه بالتنفس، فإن الحيوانات الأرضية تصرّفه بإنتاج البول.



بفضل شبكته المؤلفة من أوعية شعرية دموية دقيقة ملفوفة ممتدة في جزء أنبوبي، يعتبر هذا الكُلَيْون واحداً من الآلاف التي تتشكّل منها كلية الفقريات. عبر تصفية تدريجية، يستخرج الفضلات من الدم ويركزها في البول.

البروتينات هي عناصر أساسية في تغذية الكائنات الحيّة. غير أن هضمها قد يكون مصدراً للمشاكل. والسبب أن الحيوانات، حتى تحلل هذه الجزيئات، تحوّل الأزوت الذي تحتويه هذه الأخيرة إلى أمونياك، وهو مادة سامة جداً. كما أنه ينبغي على هذه الكائنات الحيّة أن تتخلص منه باستمرار لتجنّب تكدّس يؤدي إلى الموت السريع. لكن بعض الكائنات الحيّة تحوّل الأزوت إلى مواد أقل سمّيّة هي البولة (أوريا) وحامض البوليك.
يتم تصريف هذه الفضلات التي تنتقل في الدم والسائل، بواسطة أعضاء إفراز. لدى كل الحيوانات تقريباً، تتكوّن هذه الأعضاء وفقاً لنفس النموذج الأساسي: جهاز أنابيب صغيرة يتلقى السائل الموجود خارج الخلايا، ثم يصفيه ثم يمتص مجدداً الجزيئات التي ينبغي قطعاً أن تعود إلى الوسط الداخلي للحيوان. بهذه الطريقة تنتج الأعضاء المفرزة البول.
لإفراز الأمونياك، لا تستعمل معظم الحيوانات المائية أعضاءها الخاصة بالإخراج. يجب القول، إن هذا المركّب،

تصفّي كُليات الثدييات والطيور الدم.

السريع الذوبان في الماء، ينتشر بسرعة عبر الأغشية الخليوية. كما أن الأمونياك ينتشر ببساطة عبر أغشية خياشيمها خلال التنفس. إن كل اللافقريات المائية، والأسماك العظمية، والتماسيح وفروخ الضفادع تطرح الأزوت بشكل أمونياك.
أما بالنسبة للحيوانات الأرضية، التي يتوجب عليها حتماً الاحتفاظ بالماء، فهي تواجه صعوبات كبيرة لتصريف الأمونياك. لتجنب المجازفة، تقوم أولاً بتحويله إلى بولة أو إلى حامض البوليك.
إن الحشرات والزواحف والطيور وبعض الضفدعيات تبرز حامض البوليك بشكل رئيسي. يتم تصريف هذا المركب الذي يذوب بصعوبة في الماء بشكل جامد تقريباً. إنه على سبيل المثال المادة البيضاء والرخوة الموجودة في ذرق الطيور. وهكذا تحدّ كل هذه الحيوانات بشكل كبير من فقدان الماء، خلال طرحها لفضلاتها الأزوتية.
للوصول إلى هذه النتيجة، تتمتع الحشرات بجهاز إخراج جيد الأداء. يتكوّن هذا العضو من عدة أنابيب - تُعرف بأنابيب مالبيجي - وهو متصل بالقناة الهضمية. تنقل الأملاح وحامض البوليك الموجودة في السائل خارج الخلايا إلى داخل الأنابيب. يرتفع تركيزها داخل الأنابيب، مما يؤدي إلى جذب ماء الدورة العامة. يتم تصريف السائل المركّز الناتج عن ذلك نحو القناة الهضمية. تحت تأثير



يعتبر هذا الكليون الوحدة الأولية للكلية وهو يتكوّن من كبيبة وأنبوب تلتقط خلاياه مع الماء بعض الجزيئات. عندما تعود لتضخ هذا الماء فيما بعد، تنتج البول الشديد التركيز.

حموضة القناة الهضمية، يتبلّر حامض البوليك. وفي الوقت نفسه، تمتص خلايا الغشاء المخاطي الهضمي مجدداً الأملاح المعدنية. هكذا يصبح السائل الباقي في القناة الهضمية مخففاً جداً بعد أن يكون قد تخلّص من البوليك والأملاح المعدنية التي كان يحتويها.

لقد أصبح تركيزه التناضحي أقل من تركيز السائل الموجود خارج الخلايا. يمر الماء إذن في الاتجاه المعاكس مجدداً ليصل إلى دورة الحيوان العامة، الأكثر تركيزاً. لا تحتوي القناة الهضمية بعد ذلك إلا على بلورات حامض البوريك وأطعمة غير مهضومة. بهذه الطريقة لا تطرح الحشرات ومفصليات الأرجل الأرضية إلا المادة الجافة. لقد سمحت لها هذه المقدرة على استعمار كل الأوساط تقريباً، من الأكثر رطوبة إلى الأكثر جفافاً.

تتخلص الضفدعيات البالغة والثدييات من الأزوت بشكل بولة، وهو مركب يذوب جيداً في الماء. لدى الفقريات، الكلية هي عضو الإخراج. تتكوّن من آلاف المصافي الصغيرة الأولية التي تُعرف بالكُلْيُون. يتكوّن كل كليون من شبكة أوعية شعرية دموية دقيقة جداً وملفوفة، تُعرف بالكبيبة، تمتد في جزء أنبوبي. تؤمّن الأوعية الشعرية الدموية حركة الدم المستمرة بين الدورة العامة والكبيبة. عندما يمر الدم في هذه الدائرة، يُصفّى. يتم احتجاز الخلايا الدموية والجزيئات الضخمة في الدم، لكن الماء والجزيئات الصغيرة الموجودة في الدم تعبر إلى داخل الأنابيب.

إن السائل الأنبوبي له إذن في البداية تركيب قريب جداً من تركيب البلاسما الدموية. ومع مروره بشكل تدريجي على

لدى الحشرات، يقوم جهاز الإخراج بوظيفته بالترابط مع القناة الهضمية.

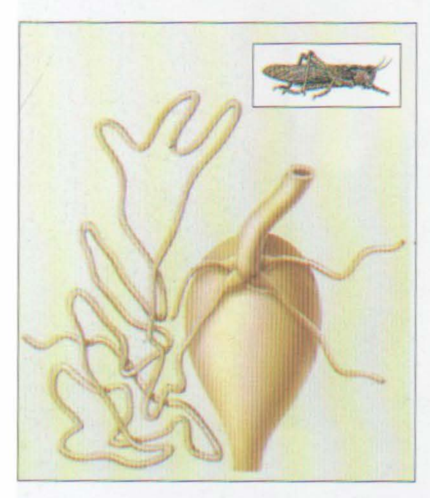
طول الأنبوب الكلوي، يتغير تركيبه تدريجياً. ففي بادئ الأمر، تصب فيه خلايا الأنابيب، بعض الجزيئات التي تمر من الدم إلى البول الجاري إعداده. ثم تمتص مجدداً هذه الخلايا المركبات الحيوية التي تكون الأوعية الشعرية قد تركتها تمر، حتى تعود هذه المركبات إلى الدم. وأخيراً، بفضل جهاز تركيز بالاتجاه المعاكس، تتوصل الأنابيب الكلوية إلى «إعادة ضخ» كمية قصوى من الماء، وبهذه الطريقة، لا تصرف الأنابيب إلا كمية صغيرة من البول الشديد التركيز. لدى الثدييات والطيور، يعمل هذا الجهاز بأداء جيد جداً. وحدها هذه الحيوانات تستطيع إخراج محلول أكثر تركيزاً من موائعها الجسدية. ■

أرقام

- لدى الثدييات، يصبح الأمونياك خطراً اعتباراً من تركيز دموي يساوي 0,5 غرام لكل ليتر من الدم.
- يحتوي جهاز الإبراز لدى الحشرات ومفصليات الأرجل على أنابيب مالبيجي يتراوح عددها بين 2 وأكثر من 100.
- تتكوّن كلية إنسان من حوالى مليون كليون.
- لدى الإنسان، يبلغ الحجم الإجمالي للدم الذي يمر في الكليتين 1 400 ليتر في اليوم.

هل تعلم؟

بعض أنواع القرش والشفنين البحري تحتوي في أنسجتها على كميات من البولة تجعل لحمها ساماً. على غرار الثدييات، تحوّل هذه الأسماك الأمونياك إلى بولة، وهي مادة تذوب بسرعة في الماء. ولكنها تحتفظ بكميات كبيرة منها في جسمها. يصبح التركيز الداخلي للبولة فيها أعلى بمئة مرّة مما هو لدى الثدييات، وهذا يجعله مميتاً إلى حد كبير بالنسبة لأي حيوان فقري آخر. بهذه الطريقة، يحتوي وسطها الداخلي على تركيز للمواد الذابة أعلى من تركيز مياه البحر. يدخل الماء بالتالي إلى مجموعة أعضائها بالتناضح قبل أن يتم تصريفه مع البولة. لا يشكل الحفاظ على الماء إذن مشكلة لهذه الانواع.



إن أنابيب مالبيجي الظاهرة في الصورة، والموجودة في جوف الحشرة العام، مغمورة بالدم التي تستخرج منه الفضلات لتفرغها فيما بعد في المعي. لا تخرج الحشرات إلا المادة الجافة.



الهيكل العظمي

بنية متحركة داخلية أو خارجية

سواء أكان الهيكل العظمي داخلياً أم خارجياً، فإنه يشكل دعامة للجسم ويحمي بعض الأعضاء، ويعطي نقاط ارتكاز للعضلات التي تسمح للجسم بالحركة. وبما أن الطبيعة ليس لها حدود، توجد هياكل مصنوعة من... الماء.



بفضل هيكله العظمي الداخلي المكوّن من عدد وافر من القطع المنفصلة المتصلة فيما بينها، يتمكن هذا الضفدع الصغير من تحمل وزنه الخاص ومن مقاومة الجاذبية، والتنقل وحتى القيام بحركات رشيقة إلى حد ما.

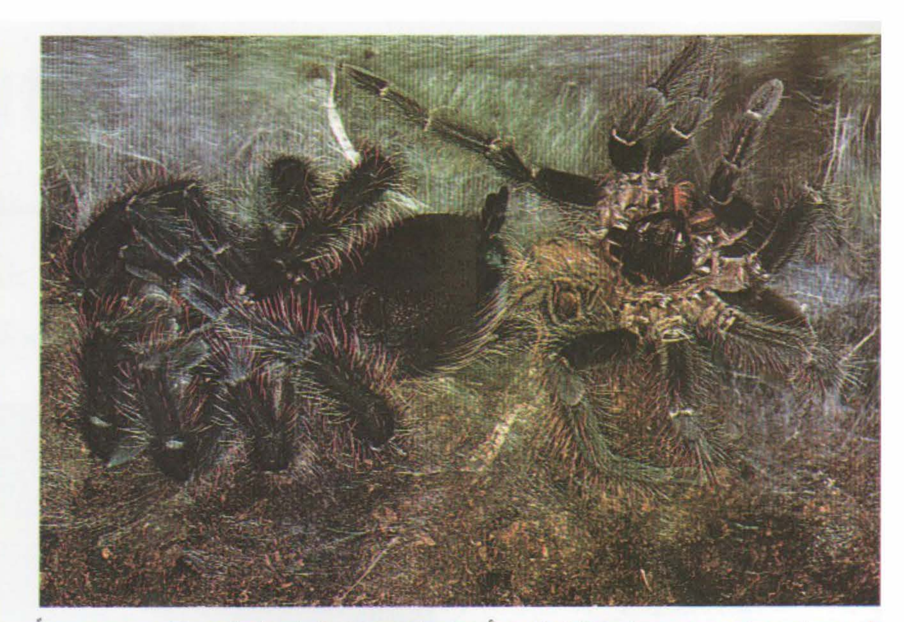
الحياة حركة. تخصّص الحيوانات جزءاً لا بأس به من وقتها ومن طاقتها للبحث عن المأكل، أو للإفلات من الخطر، أو للبحث عن شريك جنسي. الكثير منها يسبح، أو يزحف، أو يركض أو يطير. مهما كانت طريقة تنقلها، ينبغي عليها أن تؤثر بقوة كافية على محيطها للتغلب على الاحتكاكات والجاذبية.

تفوق كثافة الماء كثافة الهواء إلى حد بعيد. لهذا السبب تجد الأنواع المائية صعوبات أقل من الأنواع الهوائية للتغلب على الجاذبية (حيث تساعدها «قوة دفع أرخميدس»). لكن الوجه السيئ لهذا الأمر، يعود إلى أن الماء يقابل الحركة بمقاومة كبيرة. لتخفيف الاحتكاكات، تمتلك حيوانات سابحة عديدة شكلاً مغزلياً. أما على اليابسة، فيجب على الحيوان بشكل خاص أن يتمكن من سند وزنه. إن هيكلاً عظمياً صلباً، يقدّم دعامة جيدة، ويشكّل إذن وسيلة ممتازة. يتوجب

يتكوّن «الهيكل العظمي» للمدوسات أو للديدان المسطّحة من الماء المضغوط.

كذلك على الحيوان الأرضي أن يتجاوز، في كل خطوة من خطواته، قصوراً ذاتياً ميكانيكياً بتسريع قوائمه انطلاقاً من سرعة معدومة (تساوي الصفر). لهذا السبب يستهلك الحيوان الأرضي طاقة أكثر بكثير من حيوان سابح له نفس الحجم. أما الحيوان الطائر، فينبغي عليه بذل دفع كاف لمقاومة الجاذبية.

في أي نوع من أنواع التنقل، يسمح الهيكل العظمي بالحركة، كونه يحمي ويدعم. لو كانت الحيوانات الأرضية بدون هيكل عظمي يدعّمها، لانهارت تحت تأثير وزنها الذاتي. وحتى الحيوانات المائية لكانت مجرد كتلة بشعة الشكل! وهكذا فإن أنواعاً عديدة تمتلك هيكلاً عظمياً صلباً يحمي أنسجتها الرخوة. لدى الفقريات



في بعض فترات نموه، يتوجب على هذا العنكبوت أن ينفصل عن هيكله العظمي الخارجي الذي يصبح صغيراً جداً. إنه الانسلاخ.

مثلاً، تحمي الجمجمة الدماغ وتأوي الأضلع القلب والرئتين. لكن الهيكل العظمي بشكل خاصة، نقاط ارتكاز للعضلات التي تحرّكه. حتى أن المدوسات تملك هيكلاً عظمياً.

إن هياكل المدوس وقنديل البحر وكذلك الديدان لها مظهر مدهش: إنها سائلة، محفوظة تحت الضغط في مقصورة مقفلة. لهذا السبب تسمى بالهيكل المائي. حتى تتنقل، تقوم هذه الحيوانات بتقليص عضلاتها وتثبت بذلك قوى محددة على هيكلها المائي. غير أن هذا «الهيكل السائل» لا يقدّم أية حماية وخاصة لا يمكنه أن يدعم كائناً حياً أرضياً ذا حجم أكبر.

بعض الحيوانات، المحمية بشكل أفضل، تملك هيكلاً خارجياً يغلّف جسمها. وهكذا فإن معظم الرخويات تعيش مقفلة في صدفة كلسية تفرزها أدمتها. حتى أن صدفة المحارات ذات مصراعين هي أيضاً مفصلية. إنها تنفتح وتنغلق بفضل تقلّص عضلات موجودة داخل الصدفة. إذا كان باستطاعة الرخويات أن تكبّر صدفتها، فإن مفصليات الأرجل (القشريات، الحشرات، العنكبوتيات) تضطر، عند كل دفعة نمو، أن تنفصل عن هيكلها الخارجي، وأن تفرز هيكلاً أكبر. إنها تنسلخ.

لدى الفقريات وشوكيات الجلد، يكون الهيكل العظمي داخلياً. أما هيكل توتياء البحر وصليب البحر فإنه يتكوّن من صفائح كلسية صلبة موجودة تحت الجلد مباشرة. أما بالنسبة للفقريات، فإنها تملك هيكلاً عظمياً داخلياً يتكون من غضروف أو عظام. أما هيكل الثدييات فيتكوّن من عدد وافر من القطع المنفصلة المتصلة ببعضها بواسطة رباطات العظام عند المفاصل، وهو يسمح لها بالقيام بحركات رشيقة. إضافة إلى الدعم والحماية التي تقدمها عظام الهيكل إلى الكائنات الحية، فإنها تقوم كذلك بوظيفة الرافعة التي تحركها العضلات المربوطة بها.

عندما تتقلص العضلات فإنها تحرك الهيكل العظمي. إن المقدرة على التقلص موجودة في بنية العضلات. تتكوّن كل عضلة من ألياف عضلية تحتوي على بروتينات موضوعة بشكل خيوط. إن تنظيم الخيوط يشكل وحدات قابلة للتقلص تسمى ساركومير (وحدة وظيفية للّيفية العضلية المحزّزة تتمثل بالجزء الموجود بين حزّين). خلال التقلص، تنزلق الخيوط بعضها على بعض، مما يسبّب قصر الساركومير أحياناً إلى نصف قياسها في حال السكون. عندها تتقلّص العضلة. إن التقلص المنسّق لعدة عضلات يحرك العظام التي ترتبط بها هذه العضلات مما يجعل الجسم يتحرك. ■

تفسير كلمات

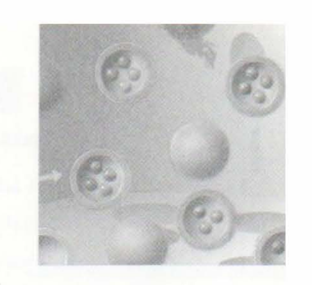
- **الهيكل الدعامي** المائي للعدارات الرئوية وللديدان المسطحة والدائرية والحلقية يتكوّن من السائل الداخلي للحيوان مقفلاً داخل تجويف محفوظ فيه تحت الضغط.
- **الهيكل الدعامي الخارجي** لمفصليات الأرجل والرخويات هو هيكل ظاهر. إنه الصَدَفَة أو القوقعة.
- **الهيكل الدعامي الداخلي** يقع داخل جسم الفقريات. يتكوّن من أجزاء عديدة من الغضروف والعظم.
- **الحرشفة** هي الهيكل الداخلي الصلب لشوكيات الجلد (صليب البحر، قثاء البحر، توتياء البحر)، تتكوّن من صفائح كلسية. وعلى عكس قوقعة القشريات أو صدفة الرخويات، تكتسي الحرشفة بطبقة رقيقة من النسيج الحي.

أرقام

- يضم الهيكل العظمي لحيوان ثديي أكثر من 200 عظمة تتحرك بواسطة أكثر من 600 عضلة.
- إن اجتماع هيكل عظمي مقاوم وعضلات قوية يمكن أن يعطي أداءً مذهلاً. بعض الحشرات من مغمدات الأجنحة بإمكانها أن تحرّك كتلاً تعادل 800 مرة وزنها الخاص!

هل تعلم؟

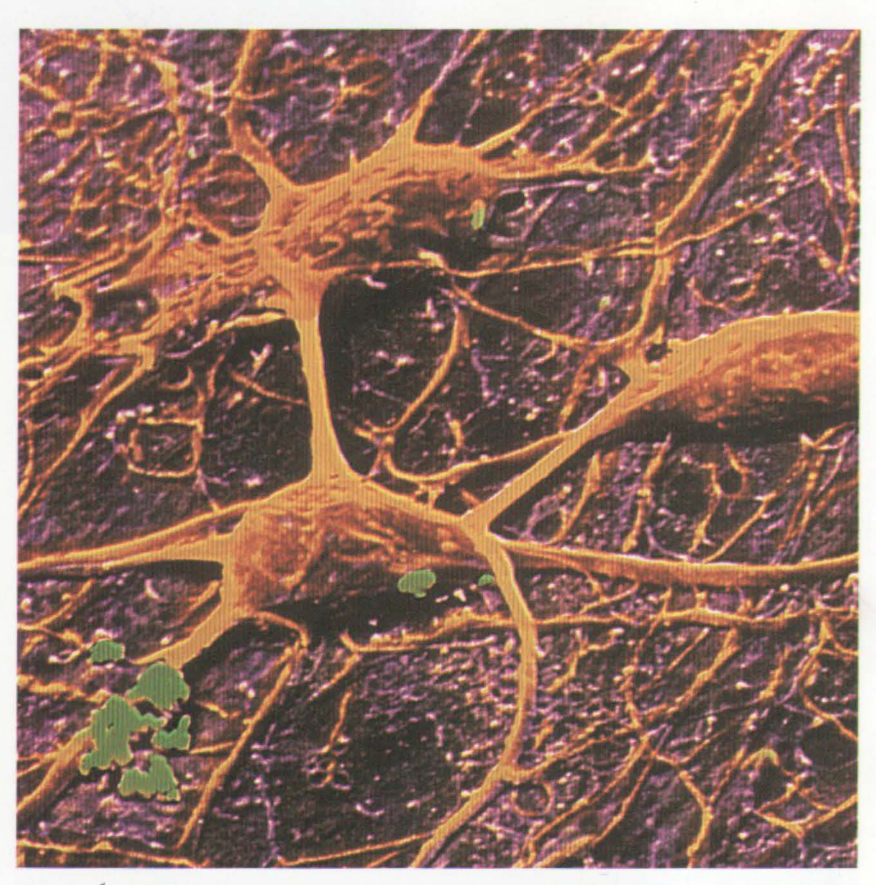
حتى تتحرك أو تلتقط طعامها، تستعمل توتياء البحر وصليب البحر نظاماً ميكانيكياً مزدوجاً. من جهة، تسمح عضلات متصلة على الجدران الداخلية للهيكل العظمي بتحريك الأشواك (توتياء البحر) أو الأذرع (صليب البحر). ومن جهة أخرى، تمتلك هذه الحيوانات زوائد صغيرة لينة ومتحركة تنتهي بمحجم وتسمى القناب. تحتوي هذه الأعضاء على الماء المحفوظ تحت الضغط بواسطة عضلات خاصة. يخلق تقلص هذه العضلات زيادة محلية في الضغط، مما يؤدي إلى تحريك القناب.



الجهاز العصبي

رسائل تتحرك بأقصى سرعة

التقاط المعلومات وتفسيرها، إيجاد جواب ملائم وإرسال أوامر: هذه هي مهمّات الجهاز العصبي الذي يسمح للكائنات الحيّة بالاستجابة سريعاً إلى المعطيات الداخلية والخارجية.



بفضل امتداداتها الخليوية المتعددة (زوائد متشجرة، محوار)، تترابط العصبات فيما بينها لتشكّل شبكات حقيقية تنتقل عبرها الرسالة العصبية بشكل إشارات كهربائية وكيماوية.

بغية تأمين تماسك الكائن الحي والاستجابة إلى المعلومات الخارجية، تتواصل خلايا الكائن الحي فيما بينها. بإمكانها «التحادث مع جيرانها» أو إرسال رسائلها عبر الدم للتحاور مع الخلايا الأكثر بعداً. من أجل تنسيق هذا العالم الصغير ونقل المعلومات سريعاً من جهة إلى أخرى داخل الكائن الحي، هناك بعض الخلايا المتخصصة بالاتصال. إنها الخلايا العصبية، أو العصبات، التي يشكل مجموعها الجهاز العصبي. حتى تتحاور العصبات فيما بينها، فإنها تمزج الكيمياء بالكهرباء.

يضطلع الجهاز العصبي، بشكل عام، بثلاث وظائف: التقاط المعلومة، تفسيرها، والإجابة عليها. في البدء، تلتقط مستقبلات حواسية المعلومات الواردة من الجسم ومن الخارج معاً. لكن يجب تفسير هذه المعلومات بشكل صحيح. لذلك فهي تتوجه بواسطة الأعصاب الموردة نحو الدماغ. يجري فك رموز المعلومات بشكل رئيسي في الجهاز العصبي المركزي (المخ والنخاع الشوكي). يبحث مركز المعالجة هذا على الجواب الأكثر ملاءمة للمعلومات الواردة. يتم إرسال أمر، بواسطة الأعصاب المحرّكة، إلى الأعضاء المستجيبة (عضلات وغدد) التي تعطي حقيقة استجابة الكائن الحي إلى مختلف المعلومات.

بعض الوظائف التي تخضع لرقابة الدماغ هي واعية وإرادية مثل الحركات. لكن البعض الآخر، مثل وظائف القلب والرئتين والخطوط المعدية المعوية هي لاإرادية، أو تلقائية. يمكن لعدد لا يحصى من الحركات الإرادية واللاإرادية أن يحصل في الوقت نفسه.

تنتقل المعلومة من عصبة إلى أخرى، بفضل ظواهر كهربائية وكيماوية.

إن الخلايا المسؤولة عن خصائص الجهاز العصبي هي العصابة. إنها تدخل في وظائف مختلفة وهي منظمة بشكل شبكات. يوجد عدة فئات من العصبات، ولكنها تمتاز جميعها بالخصائص العامة المشتركة. تتكوّن كل عصبة من جسم خليوي ومن عدد كبير من الامتدادات التي تُعرف بالزوائد المشجرة ومن المحوار. تنقل الزوائد المشجرة المعلومة إلى الجسم الخليوي، في حين أن المحوار ينقل المعلومة من الجسم الخليوي نحو خلية أخرى. لهذه الغاية، يشكّل الوصل بين زائدة مشجرة ومحوار نقطة اشتباك العصبي تعرف بالمشبك العصبي. تنتقل المعلومة

تفسير كلمات

- يتكوّن **الجهاز العصبي المركزي** من الدماغ والنخاع الشوكي.
- يضم **الجهاز العصبي الدائري** مجموعة الأعصاب التي تصل الجهاز العصبي المركزي ببقية أعضاء الجسم.
- **العصبات** هي خلايا متخصصة في نقل الرسائل بين مختلف مناطق جسم الكائن الحي.

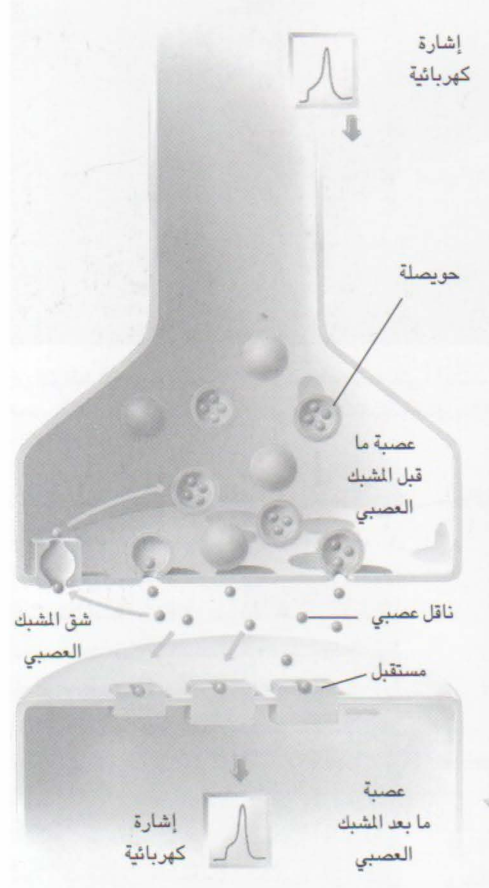
من عصبة إلى أخرى بفضل ظواهر كهربائية وكيماوية.
يتكوّن كل مشبك عصبي من طرف العصبة «المرسِلة» ومن غشاء العصبة «المتلقّية». يوجد بين الاثنين شق صغير جداً يسمى شق المشبك العصبي. إن الرسالة العصبية، أو بتعبير آخر التيار الكهربائي الذي ينتشر من عصبة إلى عصبة، غير قادر على اجتياز هذا الشق. وهكذا تخلي الكهرباء المكان أمام الكيمياء. عندما يصل التيار الكهربائي إلى طرف العصبة «المرسِلة»، فإنه يؤدي إلى إطلاق مرسال كيماوي أو مرسل عصبي. عندما تُطْلَق جزيئات المرسل العصبي في شق المشبك العصبي، تتلقاها «متلقيات نوعية» موجودة على سطح العصبة «المتلقية». يسبّب الوصل بين المرسل العصبي ومتلقيه سلسلة من التفاعلات التي تُرسل تياراً كهربائياً داخل العصبة المتلقية. وهكذا تجتاز الرسالة العصبية رويداً رويداً سلسلة كاملة من العصبات حتى تصل إلى الخلايا المستجيبة التي تشكل هدف الرسالة.
تتميز طريقة عمل العصبات بتشابه كبير في مجمل مملكة الحيوان. غير أن تنظيم الجهاز العصبي يختلف من نوع إلى نوع. وهكذا يملك العدار الجهاز العصبي الأكثر بساطة. فهو خال من الدماغ. أما المدوس، من جهته، فإنه يظهر مركزية أولية. فتكتل عصباته يسمح له بالسباحة، وهو عمل يستلزم تنسيقاً بين مجموعة أعضاء الكائن الحي. تظهر الديدان المسطحة نزوعاً أولياً لتجميع الأعضاء الحواسية نحو الجهة الأمامية من جسم الحيوان، وبتعبير آخر في الرأس. إنها تملك إذن عيوناً فطرية جداً، ودماغاً بدائياً إضافة إلى جذوع عصبية تشكل مسالك العبور للمعلومة. أما الحلقيات (ديدان الأرض) ومفصليات الأرجل فإنها مجهزة بدماغ حقيقي، يستطيل بواسطة حبل عصبي يقع تحت القناة الهضمية، في وضع بطني. أما الجهاز العصبي لدى الفقريات وبشكل خاص لدى الثدييات فهو معقد للغاية. إنه يتألف من مخ ذي حجم يتكون من عدة عناصر منفصلة (الدماغ، المخيخ، البصلة السيسائية، إلخ...) تستطيل بواسطة حبل عصبي هو النخاع الشوكي، ويقع في هذه الحالة فوق القناة الهضمية، في وضع ظهري. اليوم يعتبر فهم دماغ الفقريات وخاصة الثدييات واحداً من أكبر تحديات علم الأحياء. ■

أرقام

- يحتوي الدماغ البشري على حوالى 100 مليار خلية، منها 10 مليار عصبة «فقط». أما بقية الخلايا التي تُعرف بالخلايا الدبقيّة، فإنها تغذي العصبات وتدعمها وتحميها.
- يزن الدماغ البشري حوالى 1,5 كلغ، ويزن دماغ الفيل 7 كلغ ويزن دماغ الحوت الأزرق 9 كلغ وهو الأكبر في مملكة الحيوان.
- يحتوي دماغ الأخطبوط على 150 مليون عصبة. في المقابل، يحتوي دماغ الحلزون على حوالى مئة عصبة فقط.
- لدى اللافقريات، ينتقل السائل العصبي ببطء (بضعة أمتار في الثانية) في حين أنه يمكن أن يبلغ لدى الثدييات سرعة 120 متراً في الثانية (430 كلم في الساعة!).

هل تعلم؟

يملك الأخطبوط الدماغ الأكبر حجماً والجهاز العصبي المركزي الأكثر إتقاناً من بين كل اللافقريات. حتى أن هذه الرخويات قادرة على التعرّف على نماذج بصرية وعلى القيام ببعض الأعمال بعد 20 أو 30 تجربة. وإذا كانت هذه النتائج هي حصيلة تجارب جرت في المختبر، فإن التدرّب والاستذكار يشكّلان بلا شك جزءاً من الحياة اليومية لهذه الرخويات.



عندما تبلغ الإشارة الكهربائية طرف العصبة الواقعة ما قبل الاشتباك العصبي فإنها تنشّط إطلاق المرسل العصبي. تجتاز هذه الجزيئات شق الاشتباك العصبي أي المجال الموجود بين عصبتين، لتذهب وتنغرز في مستقبلات العصبة الواقعة ما بعد الاشتباك العصبي. يطلق هذا الاتصال إشارة كهربائية.

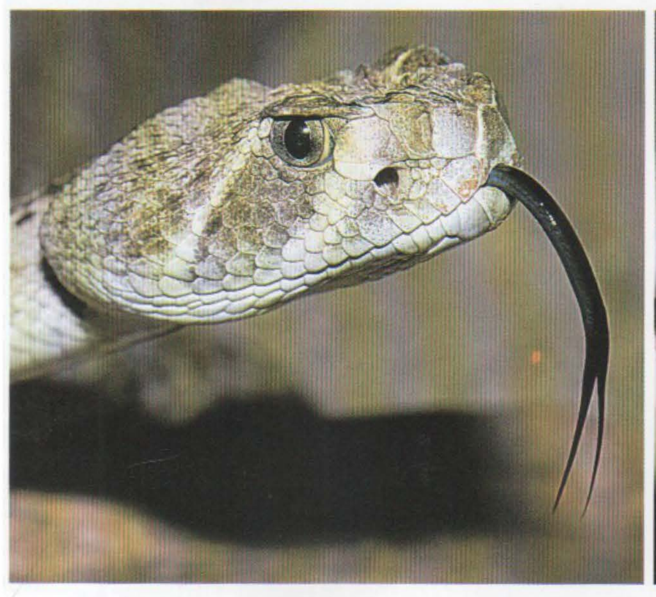


عالم الحواسّ

الإحساس بالمحيط

إنّ اللواقط الحواسية الكثيرة التي يملكها الكائن الحيّ تزوّده بحشد من المعلومات. وهكذا يستعلم كل كائن حيّ باستمرار عن حالة بيئته وكذلك عن حالة وسطه الداخلي.





إن اللواقط الحواسية لدى بعض الحيوانات تشبه كثيراً أعضاء الصيد. إن كاشف الأشعة ما تحت الحمراء لدى هذه الحية السامة (الجلجلية) - إلى اليسار - يساعدها على تحديد مكان وجود جسم حار، في حين أن المستقبلات الكهربائية لدى القرش - الثور (إلى اليمين) تُعْلمه بكل اختلال لحقله المغنطيسي يسبّبه مرور فريسة.

تستكشف الحيوانات البيئة المحيطة بها بشكل مستمر، بغية تجنّب خطر ما، أو البحث عن طعام أو عن شريك جنسي. لهذا السبب، نلاحظ أن سطح جسم هذه الحيوانات مزوّد بمستقبلات عديدة تلتقط المعلومات الخارجية. وحتى تدرك في أية وضعية توجد مختلف أجزاء جسمها، أو حتى تعرف إذا كانت جائعة أو عطشى أو تشعر بألم فإنها تمتلك كذلك مستقبلات داخلية تعلمها عن حالتها. في بعض الحالات تكون مستقبلات كثيرة من نفس النوع متجمعة داخل أعضاء حواسية معقدة. تلك الخاصة بالنظر والسمع والتوازن والذوق والشم هي الأكثر انتشاراً في عالم الحيوان.

حتى تكون المستقبلات الحواسية فعّالة، فإنها متخصّصة بشكل عام في كشف نوع معيّن من الرسائل (الضغط، الضوء، درجة الحرارة، مادة كيماوية...). يسمي رجال العلم الحدث الذي يطلق ردّة فعل المستقبل «المنبّه». معظم المستقبلات هي عصبات معدّلة، أما القسم الآخر فهو يشتمل على أنواع خليوية متحدة بشكل وثيق مع عصبة. يحوّل المستقبل الحواسي إذن المنبّه الكيماوي أو الفيزيائي إلى رسالة عصبية. يتوقف تفسير الرسالة، بعد ذلك، على المكان الذي ترسل إليه في الجهاز العصبي. على سبيل المثال، عند فرك العينين يكون الضغط هو المنبّه. عندما نميّز بقعاً ملونة، تلتقط عيوننا المنبّه وترسل المعلومة إلى المساحات البصرية في الدماغ.

بعض الحيّات مزوّدة بمستقبلات تكشف الأشعة ما تحت الحمراء.

تتمتع معظم المستقبلات كذلك بقدرة تكيّف كبيرة. تسمح لها عملية إبطال التحسس بفرز الرسائل الهامة. وهكذا يستطيع الحيوان تجاهل الضجيج الخلفي لكنه يظل قابلاً للتأثر بتغيير في البيئة. في المقابل، هناك بعض المستقبلات مثل المستقبلات الخاصة بالألم أو بالتوازن، لا تتكيّف إلا قليلاً جداً وببطء شديد.

أما المستقبلات الكيماوية (أو المتلقيات الكيماوية) التي تدخل في عملية الشم، أو التذوق أو كشف الفيرومون، فإنها تستجيب لتغيير في تركيز مادة معينة أو أنها تُنشَّط بوجود جزيئة خاصة. هكذا



بفضل المستقبلات الكيماوية الموجودة في هوائياتها، تتمكن قزيّة التوت من كشف كميات الفيرومون الجنسي الزهيدة التي تطلقها الإناث على بعد عدة كيلومترات.

تملك معظم الحيوانات مستقبلات نوعية لجزيئات هامة (غلوكوز، أوكسجين، ثاني أوكسيد الكربون، حوامض أمينية، إلخ...). إن المستقبلات الموجودة داخل الكائن الحي تعطي معلومات حول محتوى السوائل الجسدية. أما مستقبلات الذوق والشم، فإنها أقل تخصصاً. إنها تستجيب لعائلات من الجزيئات.

تغيّر المتلقيات الميكانيكية شكلها تحت تأثير الضغط، أو اللمس أو التمدد أو الحركة أو الصوت. إنها موجودة على سطح الجسم، في الجلد مثلاً، ولكن أيضاً في العضلات والمفاصل. إن الخلايا الحواسية ذات الأهداب منتشرة بشكل كبير في مملكة الحيوان وهي تكشف الحركات الخارجية.

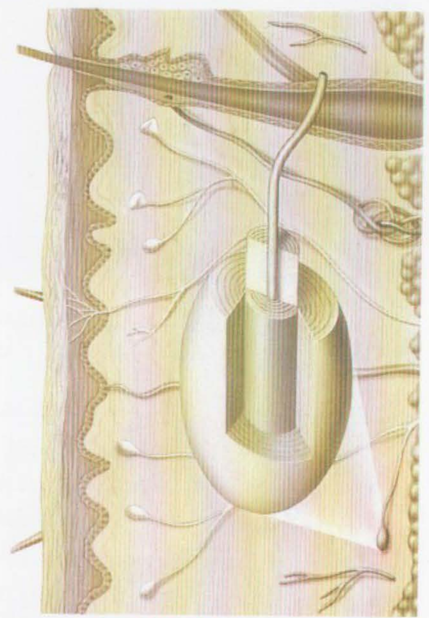
أرقام

- تكشف مستقبلات الأشعة ما دون الحمراء لدى الحية الجلجلية فروقات حرارية تبلغ 0,01 درجة مئوية.
- تمتد قدرة التمييز السمعي لدى الإنسان، انطلاقاً من الأصوات الأكثر جهراً وصولاً إلى الأصوات الأكثر حدّة، من ذبذبة 20 هرتز (ذبذبة في الثانية) حتى 16 000 هرتز. وتتراوح لدى الدلفين من 1,5 هرتز إلى 100 000 هرتز. «تسمع» بعض الحشرات الليلية أصواتاً فوقية (يصل تردّدها إلى 250 000 هرتز).
- يكشف الشفنين البحري تغيرات زهيدة في الحقل الكهربائي (يصل ترتيبها إلى حوالى 3 أجزاء من المليون فولت!) تصدرها فريسة مختفية في الرمل.

توجد في آذان الفقريات، وفي بعض الأعضاء المحددة للأسماك والضفدعيات، إضافة إلى مفصليات الأرجل. تتجاوز الأهداب سطح الخلية الحواسية. عندما تنحني في اتجاه، تزداد ذبذبة السوائل العصبية الناتجة عن العصبة الموردة. عندما تنحني في الاتجاه المعاكس، تنخفض ذبذبة السوائل العصبية. تلعب هذه الخلايا الحواسية ذات الأهداب دوراً هاماً جداً في السمع والتوازن.

إن المتلقيات الحرارية تقيس درجات الحرارة السطحية والداخلية للكائن الحي. تتخصّص متلقيات الألم في كشف الألم. إنها تستجيب إلى درجات الحرارة المفرطة، والضغط المفرط أو إلى فئات خاصة من المواد الكيماوية التي تطلقها الأنسجة المجروحة.

إن متلقيات الموجات الكهرومغنطيسية تستجيب إلى الضوء أو الكهرباء أو إلى الحقول المغنطيسية. أما المتلقيات الضوئية التي تكشف الضوء المرئي فهي موجودة في العين. تملك الحيات إضافة إلى ذلك، قرب العينين، متلقيات للأشعة ما دون الحمراء لكشف الإشعاع المرسل من جسم حار، كجسم حيوان قارض صغير، فتسارع عندئذٍ للقبض عليه. من جهتها،



يحتوي الجلد على مستقبلات عديدة، نذكر منها بشكل خاص جسيمات باسيني المعنيّة بحاسة اللمس. تقوم بتسجيل الضغوط التي تتركز على الجلد وتحولها إلى إشارات كهربائية.

هل تعلم؟

إن النباتات تعيش، هي الأخرى، في عالم من الحواس. وهكذا فإنها سريعة التأثر باللمس. حتى أن البعض منها يملك «جينات لمس» يحركها الهواء والبرد أو وطأة ما. كما أن النباتات تلتقط الطاقة الضوئية وتكشف موادَّ كيماوية متعددة.

تنتج بعض الأسماك تيارات كهربائية وترصد الفريسة التي تشوش عليها بواسطة متلقيات كهربائية. عندما تفتقد الحيوانات المهاجرة، وخاصة الطيور، إلى المعالم البصرية مثل المشهد أو الشمس أو بقية النجوم، فإنها تتمكن من تحديد الاتجاه بفضل الحقل المغنطيسي الأرضي. لهذه الغاية، فإنها تمتلك متلقيات مغنطيسية. ولكن ما زالت طبيعة هذه الأخيرة ووظيفتها مجهولتان حتى الآن. ■

توضيح

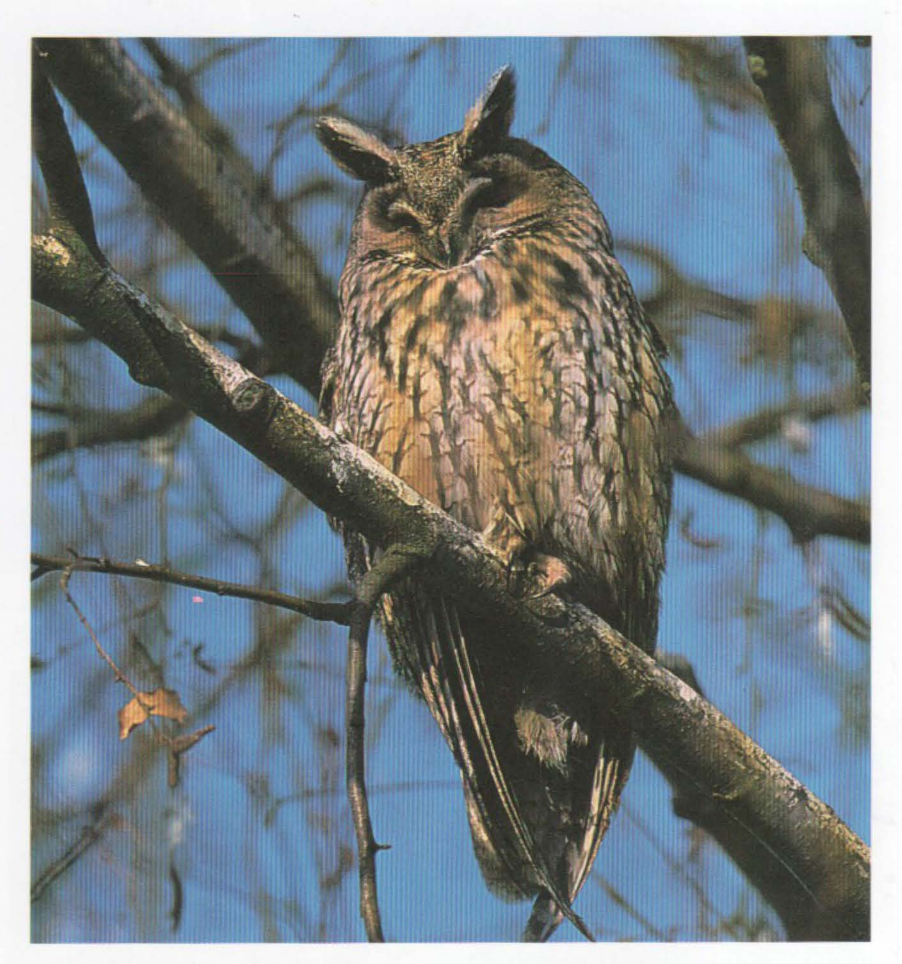
تستعمل الدلافين والخفافيش نظاماً غريباً لتحديد الاتجاه أو لكشف فريستها يعرف بالتحديد بالصدى. يتم إرسال موجات فوق صوتية في الماء أو الهواء. عندما يمر حيوان أو عقبة على مسار الموجة، فإن جزءاً منها ينعكس ويعود بشكل صدى نحو المرسل. يتم تلقي الصدى بآذان حساسة للغاية (الخفاش) أو أنه ينتشر وهو يهتز على طول الخطم (الدلفين). تفيد الفترة الزمنية الممتدة بين إطلاق الموجة واستقبالها الحيوان عن المسافة التي تفصله عن العقبة. يتميز هذا النظام بحسن أداء متميز لدى الخفافيش آكلة الحشرات، التي يمكنها أن تطير بسرعة كبيرة في بيئة معقدة وفي ظلام تام.



ساعة زمنية في الرأس

الأنظمة البيولوجية

هناك وظائف بيولوجية عديدة تضبط نفسها على وتيرة ساعة زمنية داخلية موجودة في الدماغ لدى الثدييات والطيور. بمزامنة ساعتها الزمنية مع البيئة، تتمكّن الحيوانات من توقّع التغيرات الفصلية.



سواء أكانت نهارية أو ليلية، تظهر الحيوانات، وخاصة الثدييات والطيور، سلوكاً موزوناً، مثل تعاقب اليقظة ـ النوم. لكن الساعة الزمنية البيولوجية يجب أن تكون باستمرار في طور متوافق مع البيئة.

تتم الأرض دورة كاملة حول نفسها كل 24 ساعة، وهذا يؤدي إلى تعاقب الليل والنهار. وهي تدور حول الشمس في 365 يوماً. وبما أن كوكبنا مائل قليلاً على محوره، فإن دورته حول الشمس تؤدي إلى حدوث تغيرات فصلية في طول النهار ودرجة الحرارة والرطوبة... هذه الظواهر ثابتة منذ أن ظهرت الحياة. لقد تكيفت الكائنات الحية، وخاصة تلك التي تسكن العروض العليا، مع هذه التغيرات البيئية التي يمكن توقّعها.

لدى الحيوانات، تستند الوظائف البيولوجية على وتيرة أساسية هي تعاقب النهار والليل، الذي يترجم بتعاقب اليقظة ـ النوم. يتبع إفراز مواد عديدة وتيرة نهارية. على سبيل المثال، قبل كل استيقاظ، تحمل الدورة الدموية هرموناً ينشط إمداد الغلوكوز، أي وقود الطاقة للخلايا. وهكذا يستبق الحيوان ارتفاع الاستقلاب الضروري لاستيقاظه.

لكن ما يدعو إلى الدهشة هو أن هذه الدورية لا تتعلق مباشرة بدورة النهار والليل. فإذا احتجزنا حيواناً في الظلمة التامة، وبدرجة حرارة مستقرة وتوفر الماء والطعام بشكل دائم، فإن مراحل يقظته ونومه، على غرار سلوكيات أخرى عديدة لديه، تحافظ دائماً على وتيرة نهارية. يملك الحيوان إذن ساعة زمنية داخلية، لكن بدون معالم زمنية خارجية، تحيد هذه الدورات رويداً رويداً. إن

يوجد فارق زمني بسيط بين الساعة الزمنية الداخلية وشروق الشمس وغروبها.

الساعة الزمنية الداخلية غير دقيقة. إنها تنبض وفقاً لنظم سركادي (كلمة سركادي لها أصل لاتيني: «سيركا» تعني تقريباً و«دي» تعني يوماً) قريب من 24 ساعة، ويقع في فترة زمنية تمتد من 20 إلى 24 ساعة لدى الثدييات والطيور النهارية ومن 24 إلى 28 ساعة لدى الثدييات والطيور الليلية. إن دقة موعد شروق الشمس وموعد غروبها تخطئان بشكل مستمر «رقّاص الساعة البيولوجية» هذا بوتيرة 24 ساعة.

لدى الثدييات، توجد الساعة الزمنية الأساسية في منطقة خاصة من الدماغ، في مجموعتين من العصبات قريبتين من مكان

توضيح

أشارت عدة دراسات علمية مؤخراً إلى احتمال وجود بروتين واحد هو الكريبتوكروم يدخل بشكل شامل في إدارة الساعة الزمنية الداخلية للنباتات والحشرات والثدييات. يلتقط هذا الصباغ الضوئي الحساس الضوء وينقل المعلومة إلى الساعة الزمنية التي يبقى نبضها متزامناً مع تعاقب النهار والليل، وبالتالي مضبوطاً على وتيرة 24 ساعة.

يتبع توالد الأنواع البرية وتيرة بيولوجية.

التقاء (تصالب بشكل ×) الأعصاب البصرية: «النوى التصالبية الفوقية». كيف تتزامن هذه الساعة الزمنية المستقلة مع الوتيرة البيئية؟ في النهار، يصل الضوء إلى شبكية العين. تنقل المعلومة إذن حتى النوى التصالبية الفوقية، ومن ثم إلى كردوس العظم، وهي غدة صغيرة موجودة تحت نصفي كرة الدماغ. لدى الحيوانات النهارية، تثبط هذه المعلومة كردوس العظم (التي تعرف أيضاً بالغدة الصنوبرية) التي تظل صامتة. لكن في غياب الضوء، تنشط الغدة الصنوبرية: إنها تُطلق في الدم هرموناً يدعى الميلاتونين، يقوم بإجراء مزامنة بين النظم البيولوجية السركادية ووتيرة تعاقب النهار والليل. لدى الحيوانات الليلية يحدث العكس، فغياب الضوء ينشط كردوس العظم.

بما أن الليل يكون متفاوت الطول وفقاً للفصول، فإن إطلاق الميلاتونين يقوم كذلك مقام الروزنامة (التقويم). إنه يلعب دوراً جوهرياً لدى الأنواع التي تظهر لديها دورات هرمونية سنوية، تتدخل بشكل خاص في تكوين احتياطي الشحوم لديها قبل الشتاء وفي التوالد. في الواقع، إن الحيوانات البرية تواجه مشكلة وقت: يجب أن تتبرمج الولادات بشكل حتمي لفترة مؤاتية لبقاء الصغار على قيد الحياة (الربيع في المناطق المعتدلة). أخذاً بعين الاعتبار لهذه الضرورة ولمدة الحمل التي تختلف حسب الأنواع، فإن الثدييات والطيور البرية تتجامع في فترات متعددة من السنة. لهذه الغاية، وضعت طريقة طبيعية لمنع الحمل. إن الغدد الجنسية للذكور تكون في حالة سكون خلال فترة طويلة من السنة. وهكذا، فإن إطلاق الهرمون الجنسي الذكري الذي يعرف بالتستوستيرون، يتبع وتيرة تُعرف بالنَظْم السنوي. لدى بعض الأنواع، تظهر استعادة النشاط الجنسي عندما تبدأ مدة الإضاءة النهارية بالازدياد - إنها أنواع «الأيام الطويلة». تتجامع هذه الحيوانات، التي تكون عادة مدة حملها قصيرة، في بداية الربيع. وعلى العكس، لدى الأنواع التي تكون فترة حملها أطول، فإن استعادة النشاط الجنسي تبدأ عندما تقصر مدة النهار - إنها أنواع «الأيام القصيرة». يقع فصل الحب لديها خلال الخريف أو الشتاء. وفي كل الحالات تولد الصغار في الربيع.

بتزامن ساعتها الزمنية الداخلية مع تعاقب النهار والليل، تظل الحيوانات دائماً في طور متوافق مع بيئتها. لا يوجد خطر حصول بعض السلوكيات مثل التوالد أو الإسبات أو الهجرة في فترة غير مناسبة. فإذا كانت الثدييات والطيور تملك نظاماً معقداً بشكل خاص، فإن الحيوانات الأخرى والنباتات تمتلك كذلك أنظمة مراقبة لنَظْمها البيولوجي. ■

هل تعلم؟

تملك الحيوانات عيناً ثالثة! إنها الغدة الصنوبرية أو كردوس العظم. عندما تطلق هذه الغدة الميلاتونين ليلاً فإنها تزامن الوتيرة الداخلية في الوتيرة البيئية. لدى الطيور وبعض الزواحف، تملك هذه البنية الدماغية الصغيرة مستقبلات ضوئية، وهي تكشف بالتالي الضوء بشكل مباشر.



إن تجمّع السنونو في فصل الخريف يمهد لهجرة نحو مناطق أكثر حرارة وهو يخضع لوتيرة فصلية تتحدد بقصر النهار.

أرقام

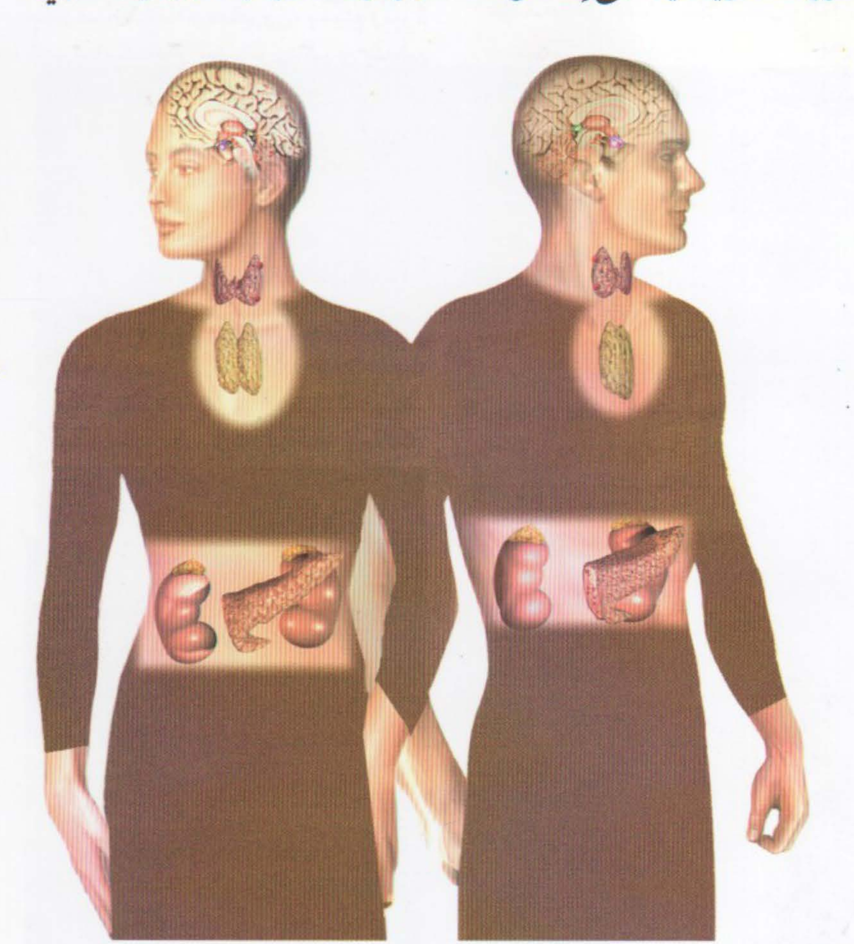
- لبعض الأعضاء دورة نشاط قصيرة جداً: فذبذبات النشاط الكهربائي للدماغ يبلغ طورها 10 أجزاء من الألف من الثانية. وتبلغ مدة الدورة القلبية ثانية واحدة.
- تخضع الدورة الخليوية (المسافة الزمنية بين انقسامين خليويين)، وتعاقب اليقظة والنوم، وذبذبات درجة حرارة الجسم إلى وتيرة 24 ساعة.
- للدورة المبيضية لدى الثدييات مدة متغيرة لكنها محددة وفقاً للنوع: من 4 أيام لدى الفأرة إلى 28 يوماً لدى المرأة.
- يخضع الإسبات الفصلي للمرموط إلى وتيرة سنوية. يتم إثمار شجرة التفاح كل سنتين، والتكاثر السريع للمدوس من 5 إلى 7 سنوات...



الجهاز الهرموني

عندما تتخاطب الخلايا فيما بينها

بغية إقامة عملية اتصال جيدة بين الخلايا المنتشرة داخل الكائن الحيّ، ترسل بعض الغدد رسائل كيماوية في الدورة الدموية. يخضع إطلاق هذه الهرمونات لمراقبة الجهاز العصبي.



تملك الثدييات الجهاز الهرموني الأكثر تعقيداً. هناك أكثر من دزينة غدد تطلق في الدم رسائل كيماوية. تعطي عندئذ هذه الهرمونات أمراً إلى خلاياها المستهدفة، المجهزة بنظام استقبال مناسب.

تتصل الخلايا فيما بينها بشكل متواصل من أجل إطلاق الأحداث الخاصة التي تنظم حياة الكائن الحي ومن أجل تنسيق نشاط مختلف الأعضاء. تتخاطب خلايا الحيوانات عن طريق رسائل كيماوية هي الهرمونات. يتم إعداد هذه المراسيل بشكل رئيسي بواسطة غدد مثل الغدة الدرقية، والبنكرياس والمبيض والخصية. إن معظم هذه الغدد، التي تُعرف أيضاً بالغدد الصماء، تفرغ إفرازها في الدم.

كل خلية في الكائن الحي تجد نفسها مغمورة بشكل مستمر في دفق من المعلومات. يتطابق لحسن الحظ مستقبل خاص مع كل هرمون: كالمفتاح الذي ينزلق داخل القفل، يأتي الهرمون ليندمج تماماً في مستقبِله. وحدها الخلايا المستهدفة، المزودة بمستقبِل مناسب، قادرة على التقاط الإشارة الموجهة إليها وعلى الاستجابة. أما الخلايا الباقية فتظل لامبالية. عندما يُطلق هرمون في الدم، فإنه يؤثر إذن على مجمل الخلايا المجهزة بمستقبِل، مهما كان العضو الذي تنتمي إليه هذه الخلايا. لهذا السبب يمكن لهرمون واحد أن يؤثر على أعضاء مختلفة وأن يكون له عدة تأثيرات.

إن معظم هذه الهرمونات غير قادرة على اختراق الخلية المستهدفة، لذلك فإنها تتثبت على مستقبِل يلامس سطح الخلية، على مستوى الغشاء الخليوي. ينشّط هذا الترابط مجموعة من الآليات. إنه يؤدي خاصة إلى زيادة، أو إلى نقصان، تركيز «مرسال ثانٍ»، هو عبارة عن جزيئة صغيرة محصورة داخل الخلية التي توصل المعلومة. عندئذ تنطلق سلسلة من التفاعلات البيوكيماوية داخل الخلية المستهدفة، تشكل الجواب الهرموني.

غير أن بعض الهرمونات الأخرى تتوصل إلى اجتياز الغشاء الخليوي. إنها بشكل خاص الهرمونات الجنسية والدرقية. حتى تسلّم رسالتها، يتوجب عليها بلوغ مستقبِل موجود في نواة الخلية. بمجرد اتحاده مع الهرمون، ينشط هذا المستقبِل (أو على العكس يثبط) مباشرة بعض الجينات التي تأمر عندئذٍ بتركيب البروتينات.

يستوجب انسلاخ الحشرات العمل المشترك لثلاثة هرمونات.

تستعمل معظم الحيوانات الاتصال الهرموني لدى حيوان لافقري مثل عدار المياه العذبة، يقوم نفس الهرمون بتنشيط

أرقام

- تطلق الغدد الصماء لدى الإنسان أكثر من 50 هرموناً مختلفاً في الدم.
- إذا لم تصل الهرمونات إلى خلاياها المستهدفة في أقل من 30 دقيقة، فإنها تحذف من الدم بواسطة الكلية والكبد.

النمو والتوالد اللاجنسي (الذي يتم بطريقة لا شقية). من جهتها، تنتج بعض الديدان الحلقية هرموناً يطلق إنتاج بيض وتثبيط التطور. لمفصليات الأرجل جهاز هرموني جيد الإعداد، لدى القشريات مثلاً تتدخل هرمونات عديدة في النمو والتوالد، وضبط الماء وحركة الخضاب في القوقعة والعيون، وضبط الاستقلاب. إلخ...

يخضع انسلاخ الحشرات بشكل دقيق إلى انسلاخاً، لكن اليرقانة تصبح فقط أكثر ضخامة. تكتسب معظم الحشرات خصائص البلوغ خلال عملية انسلاخ أخيرة، ذات أهمية أكبر من العمليات السابقة: التحوّل. تبدأ عملية التحوّل عندما ينخفض تركيز هرمون الفتوة بشكل كاف: عندها يؤدي الأكديسون الذي لم يعد نشاطه مكبوحاً من قبل هرمون الفتوة، إلى تحوّل اليرقانة إلى حشرة بالغة.

إن الجهاز الهرموني للفقريات هو كذلك أكثر تعقيداً. أكثر من دزينة أنسجة وغدد تفرز هرمونات. حتى إن البعض منها ينتج عدة هرمونات. يخضع نشاطها لرقابة ما دون المهاد، وهو بنية دماغية تقع مباشرة تحت الدماغ. يدمج ما دون المهاد المعلومات التي تصله من الجسم عبر

هل تعلم؟

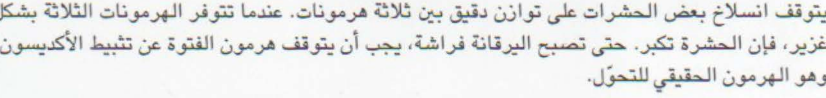
لمكافحة الحشرات التي تفتك بمزروعاته، ركّب الإنسان كيماوياً هرمون الفتوّة الذي يثبط طبيعياً تحوّل اليرقانات إلى حشرات بالغة. عندما تُنشر هذه المادة الكيماوية في الجو فإنها تمنع الحشرات من الوصول إلى مرحلة البلوغ، وبالتالي تمنعها من التوالد.











يتوقف انسلاخ بعض الحشرات على توازن دقيق بين ثلاثة هرمونات. عندما تتوفر الهرمونات الثلاثة بشكل غزير، فإن الحشرة تكبر. حتى تصبح اليرقانة فراشة، يجب أن يتوقف هرمون الفتوة عن تثبيط الأكديسون، وهو الهرمون الحقيقي للتحوّل.

تفسير كلمات

- **الغدة الصماء** هي غدة تنتج هرمونات وتطلقها في الدم.
- **الهرمون** هو مرسال كيماوي ينتقل في الدم.

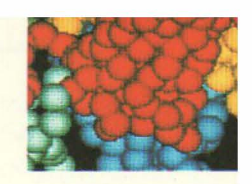
مراقبة ثلاثة هرمونات تتفاعل فيما بينها. يأتي الهرمون الأول من الدماغ، ويُعرف بالهرمون الدماغي. وهو ينشّط إفراز هرمون ثانٍ هو الأكديسون من قبل غدد صغيرة موجودة وراء الرأس مباشرة. يُطلق هذا الهرمون الأخير عملية الانسلاخ. ويأتي هرمون ثالث، هو هرمون الفتوة، وتفرزه غدتان صغيرتان تقعان وراء الدماغ، ليعادل أثر الأكديسون. في حضور هرمون الفتوّة، يسبب الأكديسون الأعصاب الدائرية وتلك التي تصله مباشرة من الدماغ، مثل التغيرات الفصلية. يرسل بعدئذٍ أوامره إلى الغدد الصماء بإطلاقه هو الآخر مراسيل كيماوية، هي الهرمونات العصبية: لهذه الغاية، يملك ما دون المهاد عصبات خاصة جداً، متخصصة في الوقت عينه بتركيب الهرمونات وإطلاقها وكذلك في نقل الدافع العصبي (أو السائل العصبي). ■

توضيح

إذا كانت الهرمونات تمر في الدورة الدموية، فإن رسائل كيماوية أخرى لا تسلك هذه المسالك. وهكذا، فبعض المواد، التي تطلق في السائل الموجود خارج الخلايا لا يكون لها إلا أثر محلي. إنها تؤثر فقط على الخلايا المجاورة. في المقابل، هناك رسائل كيماوية تسمح للأفراد بالاتصال فيما بينهم: مثل الفيرومون (هرمون فروز) الذي يلعب دوراً هاماً في الانجذاب الجنسي. إن وجوده معروف منذ زمن طويل لدى الحيوانات. وأظهرت دراسات جرت مؤخراً أن الناس يتصلون فيما بينهم أيضاً بطريقة كيماوية.

المناعة

دفاعات الأحياء



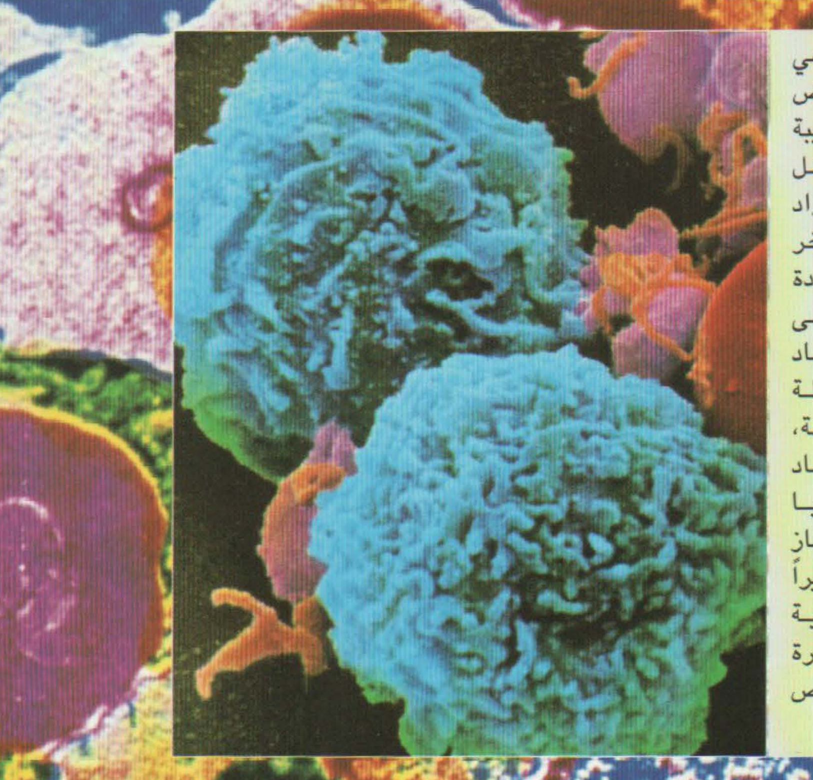
يجب على الكائنات الحيّة أن تدافع عن نفسها ضد عدد كبير من العوامل المسببة للأمراض: فيروسات، بكتيريا، وكل أنواع الطفيليات (العوامل المسببة للملاريا، الأميبة، الديدان، الفطور...). يجب عليها كذلك أن تطرح الخلايا غير الطبيعية التي تتكون بشكل منتظم.
في الخارج، يمثل الجلد والأغشية المخاطية الحاجز الأول أمام المقتحمين. في الداخل، يقوم جيش من البلاعم أو الخلايا الالتهامية بالتقاط كل الميكروبات دون تمييز، ثم إزالتها بابتلاعها، أو بتعبير

إن هذه الحشرة ملوثة بفطر إلى حد خطير. عوامل غريبة كثيرة تُهدد الكائنات الحيّة. بعض المواد الكيماوية (قطران) يمكن أن تسبّب أمراضاً سرطانية، في حين أن كائنات حيّة مجهرية كثيرة (فيروسات، بكتيريا، أمينية) أو أخرى ترى بالعين المجرّدة (ديدان طفيلية، فطور) يمكنها أن تجتاح الكائنات الحيّة وتُسبّب أمراضاً.

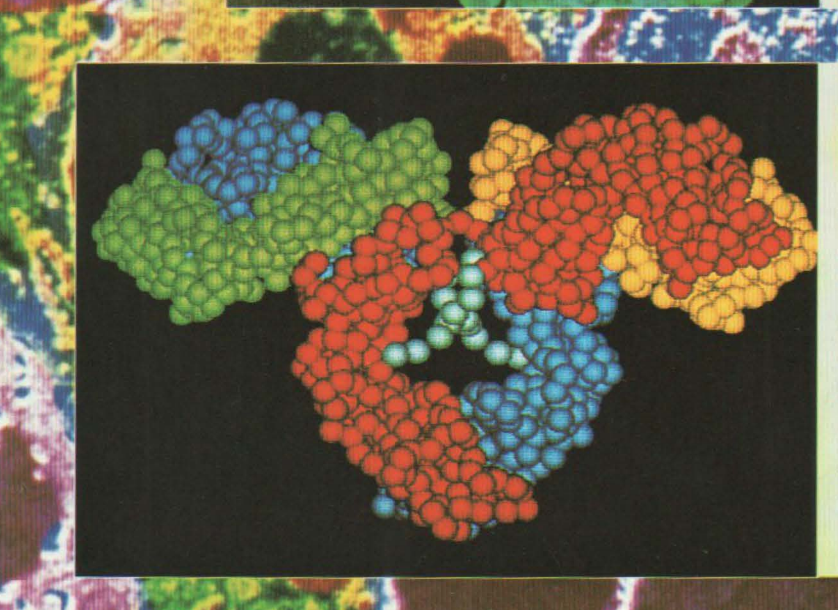
إن الخلايا الالتهامية هي كريات بيضاء ضخمة تتحرّك بحرية في الأنسجة. وهي تنشر امتدادات تُعرف بالشواة الكاذبة، تسمح لها بالتقاط البكتيريا. بمجرد التقاط البكتيريا، يتم ابتلاعها وهضمها. إن الخلايا الالتهامية موجودة بوفرة في الحويصلات الرئوية. في الدم، تقوم كريات بيضاء أخرى هي المتعددة النوى والوحيدة النواة بوظيفة مشابهة.

آخر، بأكلها. يكتمل خط الدفاع الأول هذا بجهاز أكثر تكلفاً: الجهاز المناعي. إنه يمتلك وسائل تتلاءم مع كل نوع من أنواع المهاجمين، بشكل كريات بيضاء خاصة جداً، هي الكريات اللمفاوية. بعض الكريات اللمفاوية قادرة على قتل خلايا غريبة أو سرطانية بشكل مباشر. البعض الآخر منها يطلق أجساماً مضادة قادرة على أن تتثبت على مولّدات المضادات أي على خلايا مكوِّنة للميكروبات. وبعد إزالة مفعول هذه الأجسام بواسطة الأجسام المعتادة، تقوم الخلايا الالتهامية بحذفها. عندما تلتقي الكريات اللمفاوية للمرّة الأولى بعامل غريب وتتمكن من القضاء عليه، فإنها تتذكر ذلك لاحقاً. وهكذا يكون ردها في المرة القادمة، أسرع وأكثر فعالية.

تملك كل الخلايا المكوّنة للكائن الحي، على سطحها، «جزيئات تعريف ذاتية»، تُعرف بمولدات المضاد للانسجام النسيجي، تشكّل «بطاقة هوية» حقيقية للخلايا. وهكذا لا يوجد خوف من أن يخلط النظام المناعي الخلايا مع الأحياء الغريبة. إن عدم القدرة على التمييز بين الذات والآخرين يسبّب أمراضاً تُعرف بالمناعة الذاتية، يرتد فيها النظام المناعي ضد الكائن الحي بمهاجمة خلاياه الذاتية. إن الحساسية هي رد فعل مبالغ فيه للجهاز المناعي ضد مولدات مضادة موجودة في البيئة. في المقابل، يمكن للجهاز المناعي أن يكون خائراً: يعرف ذلك بالقصور المناعي الذي يمكن أن يكون من مصدر جيني أو سرطاني (لوكيميا أو ابيضاض الدم) أو فيروسي (السيدا). ■



إن الكريات اللمفاوية هي كريات بيضاء. البعض منها يقتل الخلايا الغريبة أو السرطانية بشكل مباشر، بواسطة مواد كيماوية، والبعض الآخر يطلق أجساماً مضادة قادرة على التثبت على مولدات مضاد الميكروبات. بعد إزالة مفعولها بهذه الطريقة، يتم ابتلاع مولدات المضاد هذه من قبل الخلايا الالتهامية. يملك الجهاز المناعي تنوعاً كبيراً للكريات اللمفاوية بنوعيها، وكل كرية قادرة على مقاومة عامل خاص مسبب للمرض.



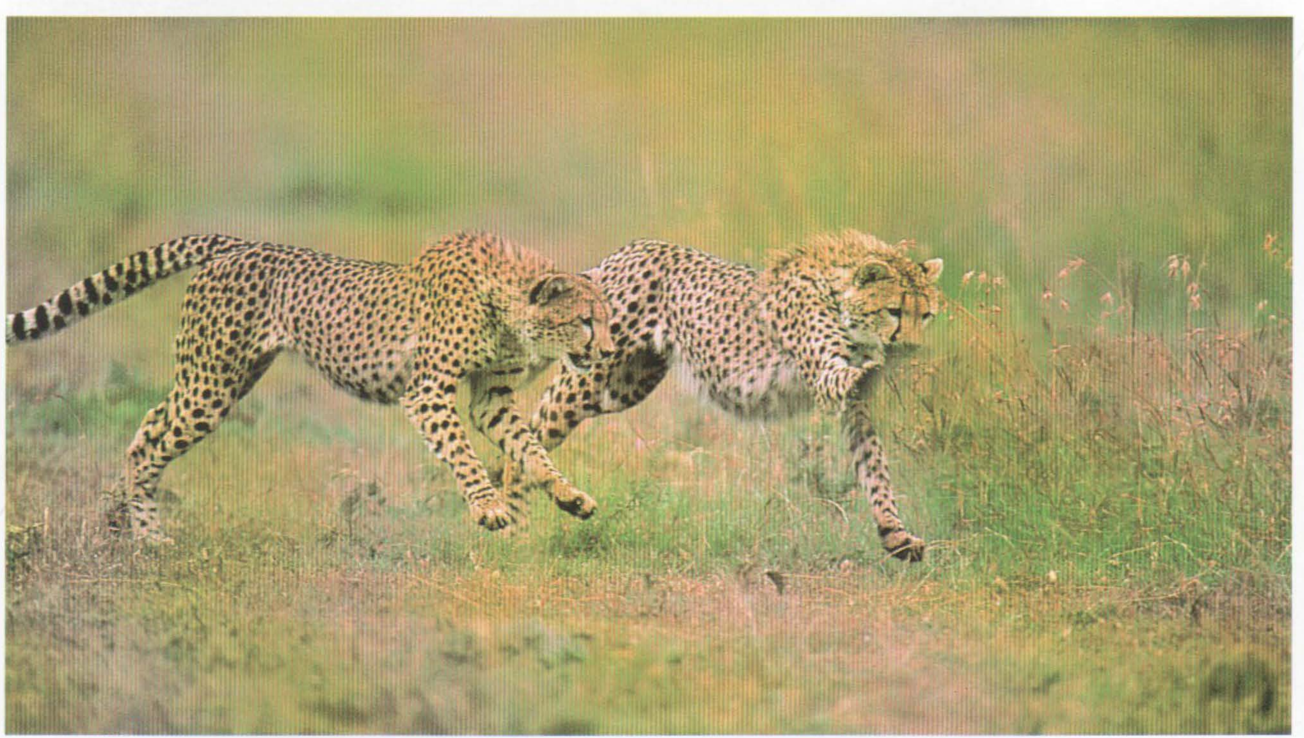
الأجسام المضادة هي بروتينات ضخمة لها شكل Y قادرة على التثبت، بذاتية كبيرة جداً، على مولّدات المضاد أي على جزيئات غريبة طليقة (توكسينات أو سمّين) أو على مكوّنات فيروس معين أو بكتيريا معينة. وبعد إزالة مفعولها أو تجميدها، يتم إزالة هذه الأجسام الغريبة بواسطة الخلايا الالتهامية.



التوالد

بالجنس أو بدون جنس

تلجأ بعض الأنواع إلى الجنس لتتوالد، فتمزج الميراث الجيني لفردين من أجل إيجاد ذرية متنوّعة. تتوالد أنواع أخرى بشكل لاجنسي (أو لا تزاوجي أو لاشقّي) وينتج عن ذلك أنسال متنوعة.



تلجأ كل الثدييات إلى الجنس لتتوالد. في الواقع، يسمح التحام الخلايا الجنسية المتحدرة من أفراد مختلفين بتوليد فروع مختلفة. بفضل هذه الميزة، تتمكن الحيوانات من التأقلم مع بيئة متغيرة باستمرار.

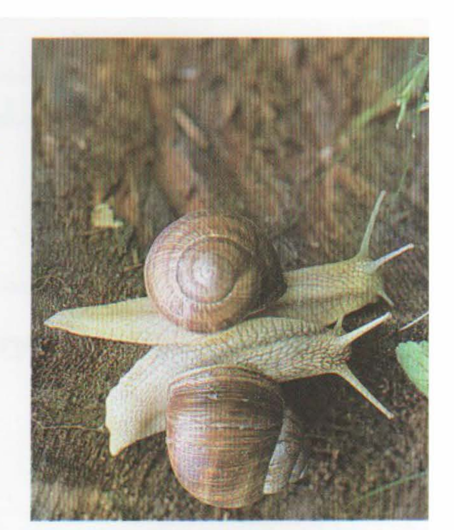
حتى تتمكن بعض الحيوانات من التوالد، فإنها تلجأ أحياناً إلى طريقة توالد لاجنسية لا تنتج إلا نسائل، أي أفراد متماثلين جينياً فيما بينهم. وفي المقابل، تلجأ بعض الأنواع الأخرى إلى الجنس، مما يولّد فروعاً مختلفة فيما بينها. في الواقع، في التوالد الجنسي، يولّد فردان فروعاً يكون ميراثها الجيني حصيلة مزج احتمالي للميراث الجيني الخاص بالوالدين.

تتوالد لافقريات عديدة بالطريقة اللاجنسية. وهكذا تمارس بعض الأنواع التعضية: ينقسم فرد إلى فرعين أو أكثر. بالنسبة للعدارات الرئوية، يتنامى معظمها بواسطة التوالد اللاشقّي. في هذه الحالة، يتكون الفرد الجديد انطلاقاً من والده. يأخذ أولاً شكل كتلة من خلايا في حالة الانقسام تتضخم ثم تتشكل على خاصرة الوالد. لدى العدار، ينتهي الأمر بهذا البرعم إلى الانفصال والعيش بشكل مستقل.

لكن لدى أنواع أخرى، مثل المرجان، تظل الفروع متصلة فيما بينها ومع أصولها، مشكلة مستعمرات تضم عدة آلاف من الأفراد. أما الديدان الحلقية من جهتها فقد اختارت طريقة التجزؤ، وهي طريقة أخرى للتوالد اللاشقي. هنا ينقسم الجسم إلى عدة أجزاء، ويصبح كل جزء فرداً

تتجزّأ بعض الديدان إلى قطع قادرة كل واحدة منها على إعادة توليد فرد كامل.

كاملاً. تستبق الدودة هذا التجزؤ: فتظهر رؤوس عند الأطراف الأمامية للفروع المستقبلية. أما الإسفنج فإنها تطلق مجموعات من الخلايا التي تولّد لاحقاً أفراداً جدداً. لهذه الغاية تهاجر الخلايا



مع أن حلزونات بورغوني تلجأ إلى التوالد الجنسي، غير أنه لا يوجد بينها ذكر أو أنثى: إنها خنثى.

التي تشكلت عبر كل جسم الحيوان. وقبل أن تغادره، فإنها تشكّل مجموعات تحيط نفسها بغلاف واق وتكوّن ما يسمى بالبريعمات أو العجز.

إن التوالد اللاشقي نافع جداً وهو يعطي دائماً عدداً كبيراً من الفروع المتماثلة في وقت قصير جداً. يمكن للنوع إذن أن يستعمر وسطاً معيناً بسرعة. ولكن إذا تغيرت ظروف هذا الوسط بشكل مفاجئ، فيمكن للأنسال أن تختفي بأكملها، إذا لم تتأقلم. إن الحيوانات التي تتوالد جنسياً هي أقل تعرضاً لتهديد هذا النوع من الخطر. فبولادتها لذرية متنوعة، يساعد التوالد الجنسي في الواقع بقاء النوع على قيد الحياة في بيئة متغيرة: فمن بين الفروع المتعددة سوف يتمكن البعض منها من مقاومة الظروف الخارجية الجديدة بشكل أفضل.

خلال التوالد الجنسي، تلتقي خليتان جنسيتان - أو مشيجان - متحدرتان من أفراد مختلفين، ثم تلتحمان لتولّدا خلية بيضة تكون مصدر الكائن الحي المنتظر: إنها عملية التلقيح. لدى بعض الأنواع، يحدث هذا اللقاء داخل جسم فرد من الفردين (التلقيح الداخلي): يضع الذكر حيوناته المنوية داخل الجهاز التناسلي للأنثى أو على مقربة منه. لدى الأنواع ذات التلقيح الخارجي، تطلق البويضات إلى البيئة المحيطة بواسطة الأنثى، ثم يتم تلقيحها بواسطة الذكر. حتى أنه يحدث في بعض الأحيان أن لا يلتقي أبداً الوالدان المستقبليان. يقذف كل منهما بكل بساطة خلاياه الجنسية في الماء. وبما أن البيضة ينبغي عليها أن تنمو دون أن تتجفف، فإن التلقيح الخارجي يحدث عامة لدى الأنواع المائية حيث لا تطرح مشكلة التجفاف. لكن تبقى صعوبة وحيدة: ينبغي أن يحدث إطلاق الخلايا الجنسية في الوقت نفسه لدى الذكور والإناث. لكن غالباً ما يُسبّب حدث خارجي (درجة حرارة، مدة النهار، إلخ...) هذه الظاهرة في آن واحد لدى كل أفراد المجموعة الواحدة. تنسّق بعض الأنواع الأخرى، «قذف الخلايا الجنسية» بإطلاق فيرومون، أي جزيئة اتصال عن بعد، في آن واحد مما يطلق نفس الظاهرة لدى الأفراد الآخرين. يمكن أحياناً للذكور والإناث الذين يمارسون التلقيح الخارجي



إن التوالد اللاجنسي هو كثير الوقوع عند العدارات الرئوية. لدى عدار المياه العذبة، ولّد الفرد الأب، في الوسط، صغيرين، بعملية توالد لاشقي بسيطة.

توضيح

تمر بعض الحيوانات، كي تتوالد، من الطريقة اللاجنسية إلى الطريقة الجنسية. فبإمكان أنثى الأرقة مثلاً أن تنتج فئتين من البيض: الفئة الأولى تلقح في حين أن الفئة الثانية تنمو بالتوالد العذري أي من غير إخصاب أو إلقاح. يحدث التوالد اللاجنسي في ظروف مؤاتية. أما الطريقة الجنسية فتستعمل عندما تتغيّر البيئة. يلعب التوالد العذري كذلك دوراً هاماً في التنظيم الاجتماعي للنحل والنمل. يولد الذكور بهذه الطريقة في حين أن العاملات تتحدر من بويضات ملقحة.

أن يختاروا بعضهم، فيقومون لهذه الغاية بسلسلة من الحركات المنظمة، تُعرف بالاستعراض الغرامي تنطلق في نهايته عملية قذف الخلايا الجنسية.

إن التعاون بين الذكر والأنثى هو أكثر تطوراً بشكل واضح إذا كان التلقيح داخلياً. وحدها الأنواع المجهزة بجهاز تناسلي معقّد إلى حد ما تتمكن من المجامعة. في الواقع تلزم أعضاء خاصة لإطلاق الحيونات المنوية، ولاستقبالها وتخزينها ثم قيادتها حتى البويضات. لا يوجد مناسل، أي غدد تنتج الخلايا الجنسية، في الأجهزة التناسلية الأكثر بساطة، كما هي الحال لدى الديدان الحلقية وهي حيوانات نجدها خاصة في الوسط البحري. في المقابل، تتضمن الأجهزة الأكثر تعقيداً، كما هي الحال لدى الحشرات وكل الفقريات، مجموعة من القنوات والغدد التي تنقل وتحمي الخلايا الجنسية. يؤمن هذا الجهاز أيضاً حماية الأجنة خلال مرحلة نموها. ■

هل تعلم؟

تبدّل بعض الحيوانات جنسها خلال فترة حياتها، مثل أسماك الحريد الزرقاء الرأس. فهذه الأسماك التي تعيش في منطقة الكاريبي تعيش في خدر يضم ذكراً ضخماً محاطاً بعدة إناث. إذا مات الذكر، تُبدّل الأنثى الأكبر في الخدر جنسها وتأخذ محله. يتم التحوُّل في أقل من أسبوع، وهو الوقت اللازم حتى يتوقف الحيوان عن إنتاج البويضات ويبدأ بإنتاج الحيونات المنوية.

أرقام

- خلال شهر تموز - يوليو، تطلق إناث إسفنج أجيلا مئات آلاف البويضات.
- يحتوي 1 ملل من السائل المنوي البشري كمعدل وسطي على مئة مليون حيون منوي، مقابل 120 مليون لدى الحصان و700 مليون لدى الأرنب، و1 مليار لدى الثور، وحتى 3 مليارات لدى الكلب.
- ينتج الرجل، خلال حياته، حوالى 000 1 مليار حيون منوي، في حين أن المرأة لا تعطي إلا 400 بويضة.



بيضة واعدة بالمستقبل

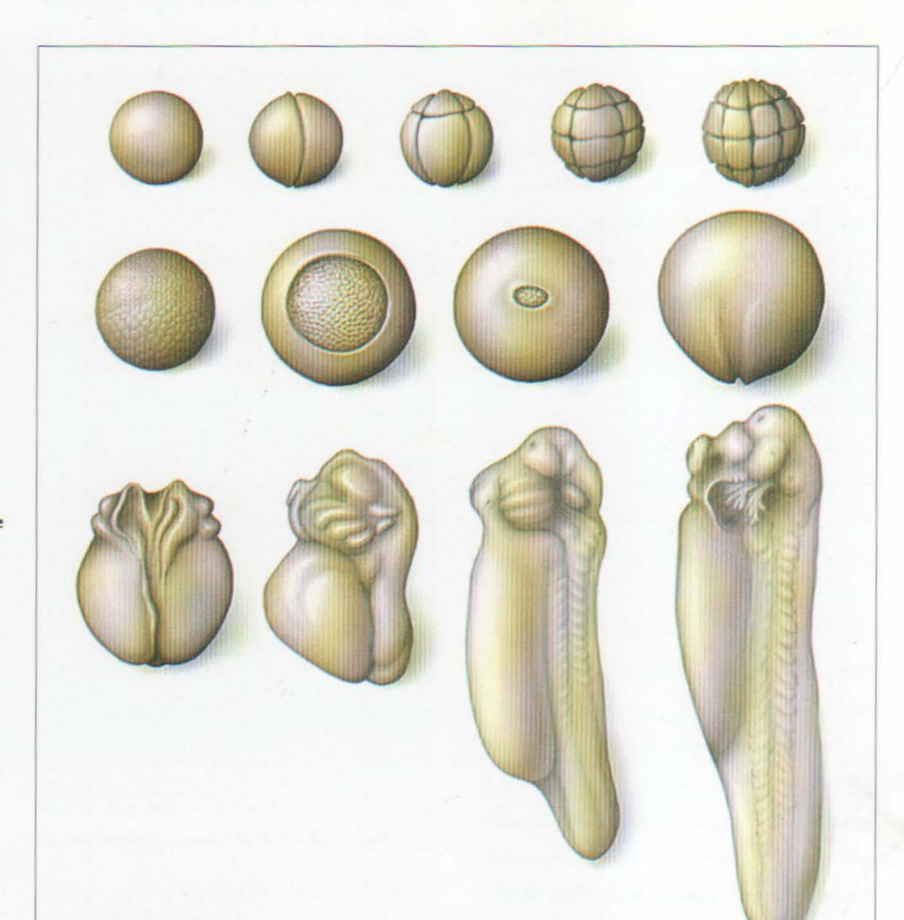
نمو المضغة

حين تتمكّن خلية ـ بيضة من تكوين فرد كامل، ينبغي عليها أولاً أن تخضع لسلسلة من الانقسامات، ينتج عنها مئات آلاف الخلايا المتماثلة. لا تلبث هذه الأخيرة أن تتخصّص رويداً رويداً لتشكّل الأعضاء.

انطلاقاً من بويضة لا شكل لها نسبياً. تخضع البيضة، أو بتعبير آخر البويضة الملقحة، إلى سلسلة انقسامات تولد عدداً كبيراً من الخلايا المتماثلة. ثم تخضع هذه الأخيرة إلى عملية تشكّل: إنها تتخصص. وبعد ذلك تأخذ المضغة شكلاً تصنعه حركات الخلايا التي تتم فيه. يُعرف هذا بالتشكّل التكويني.
يحدث التلقيح عندما يخترق الحيون المنوي البويضة. ثم تندمج نواتا الخليتين الجنسيتين. تطلق هذه الظاهرة عملية تغلّق الخلية البيضة التي تكونت. تنقسم

تسمح ثلاث وريقات من الخلايا المضغية بتشكيل كل الأعضاء.

هذه الأخيرة أولاً إلى قسمين ثم إلى أربعة، ثم إلى 8 ثم إلى 16 خلية.. مولّدة بذلك خلال عدة ساعات كومة من الخلايا الصغيرة جداً تُعرف بالتوتية. بحفرها تجويفاً مركزياً متفاوت الكبر وفقاً للنوع، تأخذ المضغة اسم الجذيعة أو البلاستولة. تكون الخلايا حاضرة لتتشكل فيما بينها. تتحرك عندئذٍ من سطح المضغة نحو الداخل، لتشكل عامة ثلاث طبقات: الأدمة الباطنية في الداخل، وطبقة المضغة الظاهرة وطبقة المضغة المتوسطة بين الاثنين. لقد تكوّنت الجسترولة أو المضغة المتعدّدة الوريقات. يمكن لتكوين الأعضاء أن يبدأ في هذه المرحلة. كل وريقة هي مصدر سلسلة أعضاء. مثلاً تولّد الطبقة



لدى الضفادع وبقية الفقريات، يبدأ النمو المضغي بخلية واحدة. تنقسم هذه الخلية البيضة بهدوء لتعطي مئات الخلايا المتماثلة. بعد ذلك تتشكّل الخلايا وتتمايز بعضها البعض ثم تهاجر. بهذه الطريقة تتجمع الخلايا المتخصصة فيما بينها وتشكل الأعضاء تدريجياً.

كيف يمكن لخلية واحدة من توليد حيوان كامل، مكوّن أحياناً من مئات مليارات الخلايا المتشكلة؟ حتى القرن الثامن عشر، كان يسود الاعتقاد بأن البويضة تحتوي على مضغة صغيرة جداً سابقة التكوّن تكبر أولاً بأول خلال نموها. وعلى غرار الدمى الروسية، ينبغي على هذه المضغة أيضاً أن تحتوي على كل ذريتها القادمة، أي على سلسلة من المضغ الأكثر صغراً منغلقة في بعضها البعض إلى ما لا نهاية. حتى أن الاعتقاد ذهب إلى حد تصور أن بطن حواء في الجنة الأرضية، كان يأوي الإنسانية بأكملها! سمحت المراقبة بواسطة المجهر في القرن التاسع عشر لعلماء الأحياء بفهم أن بنية المضغة تظهر تدريجياً في الواقع

توضيح

إن نمو المضغة عملية معقدة جداً تخضع لمراقبة جينات عديدة. لا تظهر هذه الأخيرة إلاّ خلال حياة المضغة. تلعب بعض هذه الجينات دوراً جوهرياً: إنها تراقب اتجاه مختلف أجزاء المضغة ووضعيتها وعددها (رأس وذنب، ظهر وبطن، أقدام، إلخ...). البعض من هذه الجينات متماثل تقريباً لدى معظم الحيوانات لدرجة أنه إذا استبدلت جينة فأر بالجينة المقابلة لدى الذبابة، فإن تطور الدرص (ولد الفأرة) يجري بشكل طبيعي.

الظاهرة دائماً، لدى الفقريات، الجهاز العصبي، وجليدية العين والأذن الداخلية والبشرة، في حين أن المضغة الوسيطة هي مصدر العظام والغضروف والعضلات والجهاز القلبي الوعائي والكلى. تزود المضغة الوسيطة الكساء الداخلي للأمعاء والمجاري التنفسية، والكبد والبنكرياس والغدد الدرقية والمثانة.

لدى كل الفقريات، يجب أن يتم التطور المضغي بصورة حتمية في وسط سائل. لا يشكل ذلك أية مشكلة للفقريات التي تتوالد في الماء (أسماك وضفدعيات). أما الفقريات الأرضية، فيتوجب عليها في المقابل أن تعيد تشكيل وسط سائل وأن تطور نظام حماية للمضغة. في البيضة ذات القوقعة للزواحف والطيور أو في رحم الثدييات، تكون المضغة في مأمن داخل جيب مليء بسائل ومحاط بغلاف يُعرف

تفسير كلمات

- **التفلّق** يعني مجموعة الانقسامات الأولى للخلية البيضة.
- **التوتيّة** (يعني التفسير الحرفي «ناضجة صغيرة») تتطابق مع المرحلة المبكرة لتطور المضغة، عندما تكون هذه الأخيرة مكوّنة من حوالى مئة خلية صغيرة جداً، حيث إن قطر المجموعة لا يتعدى قطر الخلية البيضة الضخمة الأصلية.
- **الجذيعة أو البلاستولة** تتطابق مع المرحلة التالية: تكون فيها المضغة بشكل كرة جوفاء تضم عدة آلاف من الخلايا. لدى الثدييات المشيمية، تسمى البلاستولة، التي تحتوي في الوقت نفسه على خلايا المضغة ذاتها وعلى الخلايا الأولية للمشيمة، بالخلايا البلاستولية.
- **الجسترولة** هي المرحلة المضغية التي تتكوّن فيها الوريقات الثلاث للخلايا التي تشكل مصدر الأنسجة الأساسية والأعضاء للحيوان البالغ.

بالسابياء (أو الأمنيوس أو السلى). لدى الزواحف والطيور، تحتوي البيضة إضافة إلى ذلك على احتياطيات مغذية وفيرة، بشكل مح (صفار البيض) وآح (بياض البيض). في المقابل، تكون بيضة الثدييات فقيرة جداً بالاحتياطيات (وتكون إذن صغيرة جداً)، لأن الأم هي التي سوف تغذي جنينها في رحمها، بفضل المشيمة. ينغرز جنين الثدييات في جدار رحم الأم عندما يكون في مرحلة «الكرة الجوفاء» (البلاستولة)؛ ولكن تنظيمه يختلف قليلاً عن تنظيم بقية الحيوانات: لهذا السبب يطلق عليه اسم الخلايا البلاستولية. في الواقع، في حين أن مجموعة من الخلايا البلاستولية تشكّل المضغة بحصر المعنى، تؤمن مجموعة خليوية أخرى انغرازها في جدار رحم الأم، ثم تساهم لاحقاً، بالتعاون مع خلايا الجدار الرحمي، بتشكيل المشيمة الحامية والمغذية. في مركز الخلايا البلاستولية يظهر التجويف السابيائي (أو الأمنيوسي)، حيث ستسبح المضغة فيما بعد خلال مرحلة تطورها. وبهدوء تبدأ الأعضاء والأجزاء المختلفة في الجسم بالتشكّل.

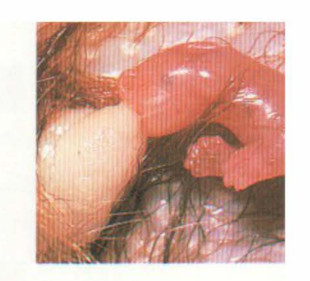
لدى الثدييات المشيمية، يمكن تمييز مرحلتين في التطور داخل الرحم. تبدأ المرحلة الأولى مع تغلّق البيضة وتنتهي عند وضع تخطيطات مختلف أعضاء الجنين. تتطابق المرحلة الثانية، وهي الأطول، مع مرحلة نمو متسارع تخضع خلالها الأعضاء إلى نضج تدريجي حتى تصبح قادرة تماماً على القيام بوظائفها. خلال هذه المرحلة تشبه المضغة وهي تكبر أولاً بأول شكل كائن بالغ صغير جداً. يطلق عليه اسم الجنين. ■

هل تعلم؟

وفقاً لاختصاصي بريطاني في علم الأجنة، لا الولادة ولا الزواج أو الموت يعتبر بحق اللحظة الأكثر أهمية في حياتنا، إنما الجسترولة (وضع الوريقات الثلاث للمضغة في مكانها). في الواقع، عند هذه المرحلة من النمو المضغي يظهر المخطط العام لتنظيم الجسم.



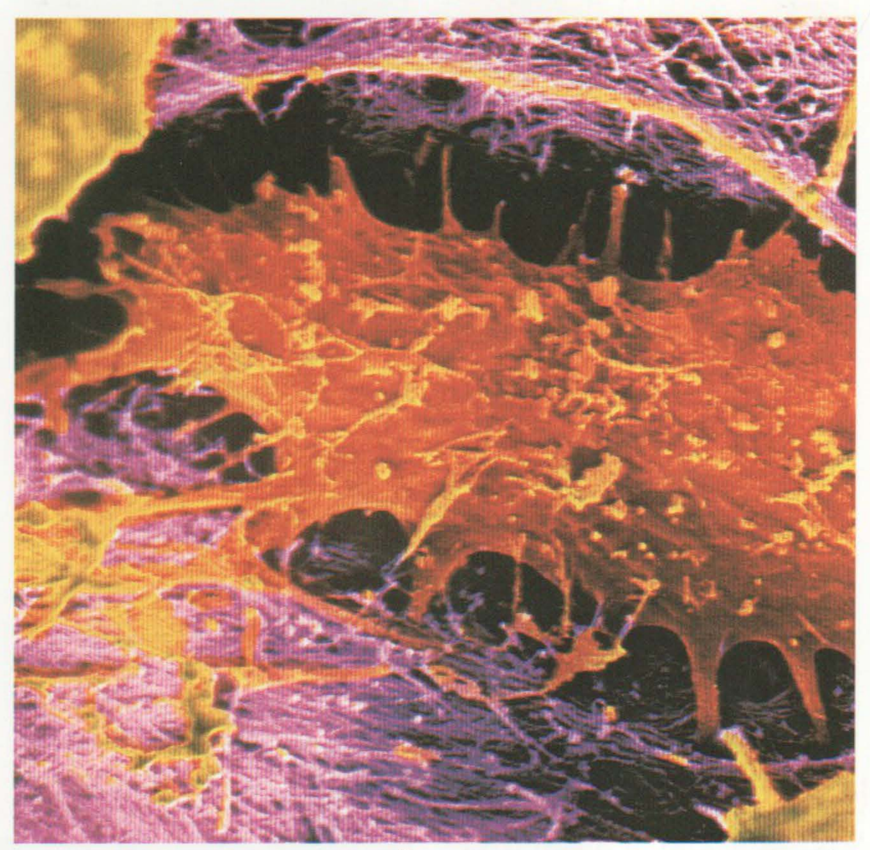
اقتضى حدوث سلسلة طويلة من التغيرات حتى تتمكن خلية واحدة من أن تصبح صوصاً، مكوّناً هو نفسه من حشد من الخلايا المختلفة جداً فيما بينها.



النمو

من مرحلة الطفولة حتى البلوغ

يكبر المولود الجديد، بفضل تكاثر خلاياه وتضخّمها وتخصّصها التدريجي. لدى بعض الحيوانات، يترافق العبور إلى مرحلة البلوغ بتغيّر جذري: إنه التحوّل.



رداً على هرمون النمو، يطلق الكبد في الدم مراسيل كيماوية تُعرف بالسوماتوميدين. سوف تأمر هذه البروتينات الصغيرة خلايا العظام (هنا خلية التعظّم) والغضروف بالتكاثر. تكون النتيجة استطالة العظم.

حتى تبلغ قامة المولود الجديد وهيئته قامة وهيئة الكائن الحي البالغ، وحتى يكون بدوره قادراً على التوالد، ينبغي عليه أن يكبر. إن النمو أي الزيادة باتجاه واحد لا معكوس للقامة، هو ميزة لمراحل حياة الشباب، حتى ولو أنها تمتد حتى الموت لدى بعض الحيوانات (أسماك، زواحف). لا تتوقف الفقريات عن النمو منذ الولادة وحتى سن البلوغ. غير أنها تظهر فترتي نمو سريعتين بشكل خاص: في بداية تطورها بعد الولادة مباشرة وفي فترة نضوجها الجنسي. في المقابل، تُظهر حيوانات أخرى مثل الحشرات والقشريات نمواً متقطعاً، تسجل فيه عمليات انسلاخ متلاحقة.

خلال حياة الحيوان، تنتج زيادة حجمه ووزنه، قبل كل شيء، عن تكاثر خلاياه وتضخمها. لهذه الغاية، تتلقى مختلف أجزاء الكائن الحي معلومات تحدد وتيرة نموها وظهور بعض الميزات. يجب أن تخضع وتيرة انقسام الخلايا وتشكلها، لكل جزء من أجزاء الجسم، إلى إشارات كيماوية خاصة.

لدى الفقريات، تنتج الغدة النخامية، وهي بنية صغيرة موجودة على قاعدة الدماغ، هرمون النمو بشكل خاص. عندما يطلق هذا المرسال الكيماوي في الدم، فإنه يسهّل النمو بشكل مباشر. إضافة إلى ذلك، فإنه ينشط إطلاق بروتينات صغيرة ينتجها الكبد، تقوم بضبط التكاثر والتشكل الخليوي لدى الكائنات الحيّة. يسبّب التكاثر الخليوي والتشكل الخليوي بشكل رئيسي نمو الغضروف والعظم بزيادة تكاثر خلاياهما. حتى تنمو العضلات، فإنه لا يبقى أمامها إلا التمدد على قياس استطالة العظام المربوطة إليها. توجد كذلك عوامل نمو عديدة (عدة عشرات منها

إن النمو المتقطع للحشرات والقشريات، يتم بالانسلاخ أو بالتحوّل.

معروفة لدى الإنسان) تؤثر محلياً على الخلايا القريبة من الخلايا التي أنتجتها. إنه حال عامل النمو العصبي (NGF) وهو بروتين نمو يسمح للعصبات المضغية بتشكيل تشعباتها الطويلة. كل هذه المراسيل الكيماوية، التي تطلق بكميات هامة جداً خلال مراحل النمو الحاد، تنتج في معظمها خلال كل فترة حياة الكائن الحي. في الواقع، حتى ولو توقف نمو بعض الحيوانات في سن البلوغ، فإن الانقسامات الخليوية تستمر، لتستبدل الخلايا المستعملة.

وإذا بدا النمو متواصلاً، لدى معظم الفقريات، فإن الحال ليس كذلك بالنسبة

لحيوانات أخرى مثل الضفدعيات إضافة إلى عدد من القشريات والحشرات والعنكبوتيات. لدى الحشرات البدائية، والعنكبوت والعقارب، يشبه المولود حديثاً الحيوان البالغ ولكن على قياس صغير جداً. وعبر سلسلة من عمليات الانسلاخ المنفصلة بفترات زمنية طويلة إلى حد ما، ينمو الحيوان تدريجياً، ويتخلص في كل مرة من غلافه الخارجي الذي يكون قد أصبح صغيراً جداً، في حين أن غلافاً جديداً أكبر من السابق يتشكّل. لدى القشريات، مثل سرطان البحر أو السلطعون، فإن الفرد الذي يخرج من البيضة هو يرقانة مجهرية مختلفة تماماً عن الفرد البالغ. تخضع هذه اليرقانة إلى عدة مراحل من التحول تنمو خلالها. وتتطابق المرحلة النهائية مع نسخة عن الفرد البالغ يبلغ طولها بضعة ملّيمترات. انطلاقاً من هنا، يتم النمو عبر سلسلة من الانسلاخات المتباعدة زمنياً أولاً بأول مع نمو الحيوان، ويستمر ذلك حتى موته.

لدى حيوانات أخرى تخضع لمرحلة نمو يرقاني، يستلزم العبور نحو سن البلوغ تغيّراً جذرياً: إنه التحوّل. وهكذا، حتى يصبح الشرغوف ضفدعة، يجب عليه أن يكوّن بنيات جديدة (الأقدام الأربعة والرئتان لدى الضفدعة) في حين أن بنيات أخرى تختفي (الذنب والخياشيم). والشيء نفسه يُقال بالنسبة للحشرات الكاملة التحول، مثل الذباب والفراشات. فانطلاقاً من بيضة ملقحة، تتكوّن يرقانة (يسروع أو سرفة الذباب) تزحف وتتغذى، ويزيد قدها عبر سلسلة من الانسلاخات. خلال هذه الانسلاخات المتتابعة، تظل بعض خلايا الحيوان منظمة في 19 مجموعة، غير متشكّلة. إنها الأقراص اليفعيّة. ثم تتوقف اليرقانة عن التغذية وتتحول إلى خادرة (أو نغفة). بعض الخلايا اليرقانية تموت، والبعض الآخر «تعاد برمجتها» تماماً لوظائف أخرى في حين أن خلايا الأقراص اليفعيّة تتشكّل إلى أعضاء جديدة تميز الحيوان البالغ (جناح، قدم، زباني أو قرن الاستشعار...) إنه التحول الكامل. لا يكون للحيوان البالغ أو اليافع، بشكل عام، إلا دور تناسلي. إنه لن يكبر بعد ذلك. ■





يولد هذان الحيوانان كلاهما في الحالة اليرقانية. لكن يجب على الشرغوف (فرخ الضفدع)، كي يصبح بالغاً أن يتحوّل، في حين أن صغير الكنغورو يتبع نمواً متواصلاً.

توضيح

لتصحيح قزم الغدّية النخامية (صغرها) الناتج عن نقص في هرمون النمو، ينتج رجال العلم هذه الجزيئة بكميات كبيرة بواسطة الهندسة الوراثية منذ العام 1985. لقد أدخلوا لهذه الغاية الجينة المسؤولة عن إنتاج هرمون النمو البشري في الميراث الجيني لبكتيريا. وهكذا، عندما «تقرأ» البكتيريا ميراثها الجيني، فإنها لا تميز بين هذه الجينة وجيناتها الأصلية. تعد البكتيريا إذن هرمون النمو مع مكوناتها الخاصة. ولا يعود يتبقى إلا استخراج هذه الجزيئة التي ستدخل لاحقاً في معالجة الأطفال المرضى.

هل تعلم؟

النمو هو قبل كل شيء بناء الخلايا والأنسجة وحتى الأعضاء. ولكنه يعني كذلك، في بعض الأحيان الهدم. إن نمو عظام الأطراف يوضح جيداً هذه اللعبة الدقيقة للهدم وإعادة البناء. لو كان عظم الفخذ أسطواني الشكل تماماً لجرى نموه وفقاً للطول والقطر بمجرد إضافة مواد عظمية. ولكن في الحقيقة نرى أن طرفي هذه العظمة هي مساحات مفصلية معقدة، مكوّنة من «تقعرات» و«حدبات». من أجل إجراء نمو متناسق، تنتج بعض خلايا النسيج العظمي عظاماً على الأجزاء الناتئة (مثل رأس عظم الفخذ) في حين أن خلايا أخرى تهدم جزءاً من العظم موجوداً في «التقعرات». وهكذا يحافظ العظم على شكله العام خلال مرحلة النمو.

أرقام

- إن النمو الأسرع هو الذي يسجله «صغير» الحوت الأزرق: يبلغ طوله عند الولادة 7 أمتار، ويصل إلى 16 متراً عند الفطام... أي بعد 7 أشهر. وخلال هذه الفترة يمكن أن يزيد وزنه 200 كلغ في اليوم.
- تحتوي يرقانة حشرة كاملة التحوّل 10 000 خلية تشكل 1 000 منها الأقراص الـ 19 اليفعيّة.
- تحتاج الفراشة إلى 30 دقيقة لتبرز من خادرتها.



استراتيجيات التوالد

التزام أم ترك الأمر للصدفة

هل من المفضل ولادة حشد من الأبناء دون الاهتمام بهم أو إنجاب عدد قليل من الصغار ومنحهم قدراً كبيراً من العناية والحماية؟ هل ينبغي أن يكون الفرد متعدّد الزواج أم أحادي الزواج؟ يطوّر كل نوع استراتيجية متكيّفة مع حاجاته.



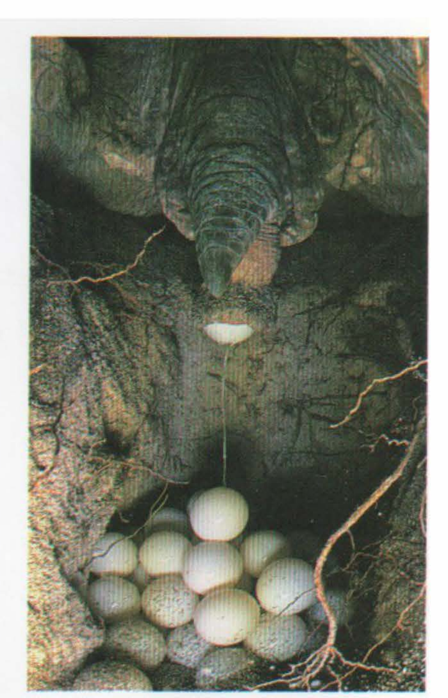
على غرار طيور عديدة، تعيش طيور اللقلق بشكل ثنائي. يتقاسم الذكر والأنثى العناية بالصغار. تتطلب استراتيجية التوالد هذه الكثير من الالتزام ولكنها تضمن للأبناء معدلاً جيداً للبقاء على قيد الحياة.

تبيض بعض السلاحف عدة مئات من البيض ثم تنساها تاركة للصغار عناية الاهتمام بتناول الغذاء والدفاع عن أنفسها ضد الكواسر. يتقاسم ثنائي الطرسوح الإمبراطوري عملية حضانة الوحيد الصغير وحمايته وتدريبه وتغذيته، حتى يصبح أضخم من والديه ويصبح بالتالي مستقلاً. توضح هذه الأمثلة استراتيجيات التوالد المتنوعة التي تتبعها الحيوانات بشكل إجمالي. تنجب الحيوانات الصغيرة التي تعيش فترة قصيرة عدداً كبيراً من الصغار لكنها لا تلتزم بمقتضيات عناية الاهل، أي الأب والأم. ضمن هذا العدد الكبير من الصغار، يتمكن بعضهم من البقاء على قيد الحياة. على العكس، تراهن الأنواع الأكثر ضخامة والتي تعيش فترة طويلة، على عناية الأهل. وبما أن هذا الالتزام يكلفها غالياً في مجال الطاقة، فإن هذه الحيوانات لا تتوالد كثيراً ولها ذرية قليلة العدد، لكن ذلك يضمن لها بشكل أفضل بقاء صغارها على قيد الحياة. بين هذين الحدين، انتقى التطور بدائل لاستراتيجيات التوالد، يقارب عددها عدد الأنواع الحيوانية نفسها.

هكذا، فإن العلاقات بين الذكور والإناث تختلف بشكل كبير وفقاً للأنواع. لدى عدد منها، تكون المزاوجة صدفوية. خارج فترة الجماع، لا يتكوّن أي رابط خاص بين الذكر والأنثى. أما بالنسبة للحيوانات التي تشكل ثنائيات ثابتة، فإنها تكون أحادية الزواج أو متعددة الزواج. وفي أغلب الأحيان تعني تعددية الزواج تعدد الزوجات، أي أن الذكر يتزاوج مع عدة إناث. ويعود ذلك إلى أن الأنثى، في معظم الأنواع، تبذل طاقة أكثر من الذكر في إنتاج خلاياها الجنسية الضخمة، وفي التوالد وفي تحمّل العناية. غير أن التنظيم الاجتماعي لبعض الأنواع يرتكز على تعدد الأزواج، حيث تتزاوج الأنثى مع عدة ذكور.

> **بسبب عدم تأكدهم من أبوّتهم، يهمل بعض الذكور العناية الأبوية.**

تشكّل حاجات الصغار عاملاً حاسماً في التنظيم الاجتماعي. وهكذا، فإن غالبية الفراخ لا تتمتع بأية استقلالية. كما أن حاجاتها الغذائية هي من الضخامة بحيث أن والداً واحداً لا يتمكن من توفيرها لها



للتعويض عن غياب عناية الأهل تضع السلاحف أعداداً كبيرة من البيض. سوف تتمكن بعض الصغار من المجموعة من تدبير أمرها.

بمفرده. وباستثناء وضع البيض، الذي تقوم به الإناث، فإن كل الأعمال المرتبطة بالتوالد يمكن أن يقوم بها الذكور أيضاً. وبالنتيجة، فإن طيوراً عديدة هي أحادية الزواج. لدى البطرسي (طائر بحري كبير)، يكون الثنائي مرتبطاً لدى الحياة (أي لعشرات السنين) بإخلاص ثابت. في المقابل، لدى الأنواع التي يستقل فيها الصغار بسرعة، مثل بعض أنواع البط، فإن أحادية الزواج تفقد أهميتها. يحاول الذكور عندئذ توسيع نجاحهم التناسلي بتلقيح عدة إناث. لدى الثدييات، بالكاد تصل إلى 5% نسبة الأنواع التي تبدو حقيقة أحادية الزواج. ينبغي القول إن مصدر الغذاء الوحيد للصغار يكمن في حليب الإناث. عندما يتدخل الذكور في التوالد، فإنهم يكتفون بحماية الإناث وصغارها. وأحياناً يعيشون في خِدْر. لكن هنا أيضاً يبدو أن أحادية الزواج تقدم نجاحاً أفضل لصالح بقاء الصغار على قيد الحياة، لأن على الذكر حماية أنثى واحدة وذرية واحدة.

إضافة إلى حاجات الصغار، يوجد معيار آخر يحدد العناية الوالدية للذكور: «التأكد من الأبوة». لدى الأنواع ذات التلقيح الداخلي، تكون المدة الفاصلة بين المزاوجة والولادة (أو وضع البيض) طويلة إلى حد ما، وبالتالي يكون اليقين بالأبوة ضعيفاً نوعاً ما، لأن الأنثى يمكن أن تكون قد تزاوجت مع عدة ذكور. مَن مِن هؤلاء الذكور سوف يخاطر بتربية صغار قد لا يكونوا صغاره؟ لهذا السبب نجد أنه لدى الثدييات نادراً ما يلتزم الذكور بتحمّل العناية. أما في حالة الأنواع ذات التلقيح الخارجي، كأسماك عديدة أو ضفدعيات، فإن الذكر يقف قرب الأنثى عندما تضع البيض ويقذف حيوناته المنوية فوراً ليلقح البيض. يلتزم هؤلاء الذكور بطيبة خاطر في حماية ذريتهم، لدرجة أنهم يهتمون بالبيض، لأن أبوتهم مؤكدة بسبب شبه التزامن بين وضع البيض وتلقيحه. وعندما يوجد الالتزام الأبوي فإنه يتوزع بشكل غير متساو بين الجنسين، فلدى الأسماك يلتزم الذكور أكثر من الإناث في كل الحالات تقريباً، أما لدى الثدييات والطيور فإن الالتزام يكون أكثر من جهة الإناث. ■

توضيح

إن الدودة الوحيدة لدى الكلب، وهي دودة مسطحة، تعيش متطفلة داخل أمعاء هذا الحيوان عندما تصل إلى سن البلوغ. لها استراتيجية توالد متكيفة تماماً مع الضغوط التي يفرضها نمط حياتها. وبما أنها خنثى، فإنها تنتج في الوقت نفسه بويضات وحيونات منوية لتلقحها. عند طرف جسمها، تنفصل كل يوم أجزاء تحتوي آلاف البويضات الملقحة الصغيرة جداً وتطرح مع البراز. حتى تنمو اليرقانات الناتجة عن هذه البيوض، ينبغي أن تبتلعها يرقانات البراغيث، وعندما تصبح هذه الاخيرة بالغة، فإنها سوف تلوّث كلباً جديداً بواسطة اللدغ. وهنا تعوّض كمية البيض الوافرة الاحتمال الضعيف جداً لكل بيضة بإتمام دورة توالدها الكاملة.

أرقام

- يدافع ذكر وأنثى سمك Acanthochromis acanthus عن صغارهما الـ 300 خلال مدة 50 يوماً بعد ولادتها.
- يهتم الذكور بالصغار لدى حوالى 70 بالمئة من فصائل الأسماك والضفدعيات ذات التلقيح الخارجي، في حين 7% فقط من الذكور يقوم بذلك لدى الفصائل ذات التلقيح الداخلي.
- بالكاد تبلغ 5% نسبة أنواع الثدييات الأحادية الزواج تماماً.

هل تعلم؟

إن استراتيجيات التوالد متغيرة كثيراً لدى الزواحف. تظهر السلاحف والثعابين وكأنها تستخف بذريتها. أما إناث الأصلة والكوبرا الملكية فإنها تحضن مع ذلك بيضها وهي ترتجف كي تدفئها. أما التماسيح من جهتها فهي ملتزمة كثيراً بعناية الأب والأم، حتى أن ذكور بعض الأنواع يمكنها أن تدافع بشراسة عن صغارها!



لدى الحيوانات ذات التلقيح الخارجي، غالباً ما يهتم الذكور بالصغار. تبلغ عناية الأهل حدها الأقصى لدى أسماك حصان البحر حيث يصل الأمر بالذكر إلى حمل الصغار.

مفردات

أدرينالين (أو كظرين)
Adrénaline
هرمون تفرزه الغدد الكظرية التي تنشط الوظائف الحيوية، خاصة عندما يتعرض الكائن الحي إلى إرهاق.

أدنوزين ثلاثي الفوسفات
(ATP)
جزيئة غنية بالطاقة الجاهزة التي تستعملها كل الكائنات الحية حتى تقوم خلاياها بوظائفها.

إسبات
Hibernation
يعني حالة الحياة البطيئة (تباطؤ الوظائف الحيوية، انخفاض درجة الحرارة الجسدية) التي يقضي فيها حيوان ينتمي إلى الضفدعيات أو الزواحف أو الثدييات، الفصل البارد.

استقلاب
Métabolisme
مجموعة التفاعلات الكيماوية الحيوية داخل الكائن الحي.

اشتباك (أو اتصال) الخلايا العصبية
Synapse
(مشبك عصبي) منطقة اتصال بين عصبتين تشكل مكان مرور السائل العصبي بواسطة مرسال كيماوي.

آكلات الأجسام المجهرية
Microphages
تعني الحيوانات التي تقتات بالأجسام أو بالفرائس المجهرية.

انتصاف
Méiose
آلية للانقسام الخليوي الخاص الذي يؤدي إلى تكوين الأمشاج (أو العرائس).

انتحاء ضوئي
Phototropisme
ميزة خاصة بالنباتات تجعلها تتجه نحو الضوء.

انقسام خيطي
Mitose
عملية الانقسام الخليوي الخاصة بالخلايا الحقيقية النوى، يتكثف خلالها الحامض النووي **ADN** الخاص بالخلية الأم بالكروموزومات قبل أن يتوزع على الخلايا الوليدة.

باطنية الإفراز (أو صماء)
Endocrine
صفة تطلق على طريقة اتصال بين الأعضاء تستعمل مراسيل كيماوية (هرمونات) تنقلها السوائل الجسدية (الدم لدى الحيوانات، والنسغ لدى النباتات).

برنامج جيني
Programme génétique
مجموعة التعليمات الضرورية لنمو كائن حي وللقيام بوظائفه، مسجّلة في حامضه النووي ADN الموجود في نواة كل الخلايا. تسمى كل واحدة من هذه التعليمات جينة.

بروتون
Proton
ذرة هيدروجين فاقدة لإلكترونها.

بزرة
Graine
كائن حي نباتي صغير من عاريات البزور ومغلفات البزور. تتحدر البزرة من تحوّل المبيض الملقّح (عضو التأنيث) وهي تأوي الجنين النباتي وتغذيه.

بلاجي
Pélagique
صفة للمياه العميقة البعيدة عن الضفة (النطاق البلاجي).

بَوْغ (أو بوغة)
Spore
خلية معزولة أو مجموعة صغيرة من خلايا متحدرة من والد وحيد، يولّد إنتاشها (أي إنباتها) فرداً جديداً (بوغ بكتيري، بوغ سرخسي، بوغ فطري... الخ).

بييضة (أو بذيرة)
Ovule
1 - خلية جنسية أنثوية لدى الحيوانات.
2 - جزء من العضو التناسلي المؤنث لدى الصنوبريات والنباتات المزهرة الذي يحتوي على الخلية الجنسية المؤنثة أو البييضة غير الملقحة.

بييضة غير ملقحة
Oosphère
خليّة جنسية أنثوية لدى النباتات.

تخلّق
Morphogenèse
عملية تمايز تؤدي إلى ظهور الأعضاء لدى المضغة.

تركيب ضوئي
Photosynthèse
تفاعل كيماوي حيوي خاص بالنباتات يستغل الطاقة الضوئية لإنتاج سكريات انطلاقاً من ثاني أوكسيد الكربون في الهواء، ويطرح الماء والأوكسجين.

تشتية
Hivernation ou hivernage
مجموعة أشكال التكيّف الفيزيولوجي أو السلوكي (هجرات، اختفاء داخل جحر، إسبات إلخ...) تسمح لنوع معيّن بالبقاء على قيد الحياة خلال الفصل البارد.

تعابر
Enjambement
تبادل جينات بين كروموزومين متماثلين (أحدهما من جهة الأب والآخر من جهة الأم) أثناء تكوين الخلايا الجنسية: التعابر هو مصدر تغيرية جينية.

تفلّق
Segmentation
في علم الأجنة، يعني التفلّق مجموعة الانقسامات الأولى للخلية البيضة.

تقارب تطوري
Homoplasie
وجود سمة مجانسة لدى عدة أنواع كان جدها الأول المشترك محروماً منها. تنتج التقاربات التطورية غالباً عن تقاربات تكيفيّة.

تكافل (أو معايشة)
Symbiose
علاقة ذات منفعة متبادلة بين كائنين حيين من أنواع مختلفة.

تكوين معدّل
Transgenèse
مجموعة التقنيات التي تسمح بالحصول على كائنات معدلة جينياً (OGM).

تمايز خليوي
Différenciation cellulaire
آلية تسمح لخلية ما، اكتساب ميزات لها علاقة مع وظيفة محددة (خلية في بشرة الجلد، خلية عضلية...).

تناسل عذري (دون إلقاح)
Parthénogenèse
تكوّن بيضة دون تدخّل التلقيح (لدى الأرقة أو بعض غشائيات الأجنحة).

تناضح
Osmose
انتشار تلقائي للماء من وسط قليل التركيز باتجاه وسط أكثر تركيزاً.

تنضيد
Stratification
تشكل النباتات في طبقات عديدة ذات ارتفاعات متغيرة.

تنفّس خليوي
Respiration cellulaire
آلية خليوية داخلية لتحلل الجزيئات العضوية في وجود الأوكسجين، هدفها إنتاج الطاقة الضرورية للخلية حتى تقوم بوظيفتها. يتأمن التنفس الخليوي بواسطة الحبيبات الخيطية أو هنيّات الجبلة).

توالد جنسي
Reproduction sexuée
نمط توالد يرتكز على اتحاد خليتين جنسيتين، وهو يؤدي إلى تكوين خلية بيضة.

توالد لاجنسي
Reproduction asexuée
نمط توالد يعطي أفراداً جدداً انطلاقاً من خلية او مجموعة خلايا الفرد الوالد. إن آليات التوالد اللاجنسي عديدة (انقسام خليوي، برعمة، الخ).

ثنائي الصبغة
Diploïde
صفة تطلق على خلية تحتوي على مجموعتين من الكروموزومات.

جبيلة اليخضور
Chloroplaste
كنسج في الخلايا النباتية يحتوي على الكلوروفيل ويقوم بإجراء التركيب الضوئي.

جينة
Gène
جزء من ADN يحمل التعليمات الضرورية لتكوين بروتين واحد أو عدة بروتينات.

حامض أميني
Acide aminé
جزيئة عضوية أزوتية، تشكل الوحدة الأولية للبروتينات.

حامض نووي
ADN
أو الحامض الديزوكسيريبونوكليك (أو الحامض النووي الريبي منزوع الأوكسجين).
جزيئة كبيرة تشكل ركيزة المعلومة الجينية الوراثية للخلايا.

حبيبات خيطية (أو هنيات الجبلة)
Mitochondries
كنسج الخلايا النباتية والحيوانية تقوم وظيفته على إنتاج جزيئات غنية بالطاقة (ATP) في وجود الأوكسجين، انطلاقاً من جزيئات عضوية (سكريات، دهنيات).

حيون منوي
Spermatozoïde
خليّة جنسية ذكرية لدى النباتات والحيوانات.

خادرة
Pupe
حالة صَبَوية (حوراء) تمر فيها الفراشات، وتميز الانتقال من اليرقانة إلى مرحلة البلوغ وهي تتجسّد بإنتاج الشرنقة.

خليّة آحادية الصبغة
Haploïde
صفة تطلق على خليّة تحتوي على مجموعة واحدة من الكروموزومات.

خليّة بيضة
Cellule œuf
خليّة متحدرة من اتحاد خليّتين جنسيتين ذكرية وأنثوية.

خليّة حقيقية النوى
Cellule eucaryote
خليّة تحتوي على كناسج، وتكون نواتها محددة بغلاف. يمكن للكائنات الحية ذات خلايا حقيقية النوى أن تكون وحيدة الخلايا (فرطيسات) أو متعددة الخلايا (نباتات، فطور، وحيوانات).

خليّة طليعية النواة
Cellule procaryote
خليّة بسيطة بدون نواة متمايزة وبدون كناسج، مثل خلايا البكتيريا.

خنثى
Hermaphrodite
صفة تطلق على حيوان مثل الحلزون، يجمع الوظائف التناسلية الذكرية والأنثوية.

رامزة
Codon
تعاقب ثلاث نويدات على طول الحامض النووي، تشكل وحدة ذات معنى، أو «كلمة» في «لغة» الحامض النووي ADN.

رمز جيني
Code génétique
يطابق الرمز الجيني كل وحدة من الحامض النووي (راموز من ADN أو من ARN) مع وحدة هيولياتية (حامض أميني).

ريباسة (أو جسيمات ريبية)
Ribosome
كنسج صغير موجود بأعداد كبيرة في الخلية يجمع الحوامض الأمينية لإنتاج البروتينات.

سائل عصبي
Influx nerveux
رسالة تنتقل على طول الخلايا العصبية وتتكون من إشارات كهربائية ذات ذبذبة متغيرة.

سداة
Étamine
عضو التناسل الذكري لدى النباتات المزهرة.

سلسلة غذائية
Chaîne alimentaire
مجموعة الكائنات الحية التي تنتمي إلى الموطن نفسه والتي ترتبط فيما بينها بعلاقات ترتكز على التغذية.

شرغوف (فرخ الضفدع)
Têtard
يرقانة حيوان من الضفدعيات (ضفدعة، علجوم، سمندل).

صبغيات (أو كروموزومات)
Chromosomes
هي كل عنصر مرئي من النواة أثناء الانقسام الخليوي، متطابق مع المرحلة النهائية لتركيز الصبغية. تحمل الكروموزومات الجينات.

صبغية (أو صبغين)
Chromatine
مادة موجودة في نواة الخلايا ومكونة من اتحاد ADN وبروتينات. أثناء الانقسام الخليوي، تتركز هذه المادة لتكوّن الكروموزومات (أو الصبغيات).

ضبط ذاتي
Homéostasie
المحافظة على التوازن بين عناصر الوسط الداخلي لكائن حي مهما كانت تغيرات البيئة الخارجية.

طبع وراثي
Phénotype
مجموعة السمات المُعبَّر عنها لفرد ما. ينتج الطبع الوراثي عن التفاعل بين النمط الوراثي والبيئة التي يوجد فيها الفرد.

طفرة
Mutation
تغيّر دقيق ودائم للميراث الجيني، قد يسبّب أو لا يسبّب اضطراب وظيفة الخلية.

عاريات البزر
Gymnospermes
نبات لا ينتج أوراقاً ولا ثمراً وتكون بزوره عارية (صنوبر، سرو، جنكة).

عدارات رئوية
Cnidaires
شعبة من الحيوانات ذات بنية بسيطة، وجسم بشكل جيب، يحمل مجسات سامة (مرجان، عدار، مدوس أو رئة البحر).

عصبة
Neurone
خليّة في الجهاز العصبي، متخصصة في نقل الرسائل العصبية المتنقلة داخل أعضاء الجسم. العصبات الموردة تنقل الرسائل العصبية من المستقبلات الحواسية نحو الجهاز العصبي المركزي، وفي المقابل، تنقل العصبات المحركة السائل العصبي من الجهاز العصبي المركزي نحو الأعضاء المستجيبة. (العضلات، الغدد، الخ...).

عضو التأنيث
Ovaire
جزء من الزهرة يحتوي على بيضة واحدة أو أكثر.

علم الأحياء
Biologie
دراسة علمية للكائنات الحية.

علم الوظائف البيئية
Écophysiologie
علم يدرس وظيفة كائن حي معين إزاء الضغوط الموجودة في بيئته.

عنصر مغذ
Nutriment
مادة مغذية يمكن تمثيلها مباشرة ويمكن استعمالها من قبل الخلايا. بالإمكان التمييز بين العناصر المغذية المعدنية (أملاح معدنية) والعناصر المغذية العضوية (غلوكوز، حوامض أمينية، حوامض دهنية... إلخ). لا يجب الخلط بينها وبين الغذاء الذي لا يمكن تمثيله إلا بعد الهضم.

فطري
Inné
صفة تطلق على سلوك حيواني موروث، غير مكتسب لأنه مسجّل في الجينات.

كريل
Krill
مجموعة القشريات الصغيرة جداً التي تعيش في حالة معلّقة في البحار الباردة.

كلوروفيل (أو يخضور)
Chlorophylle
خضاب أخضر موجود في جبيلات اليخضور في الخلايا النباتية. يلتقط الكلوروفيل طاقة الضوء الضرورية لاستقلاب النبتة من أجل إجراء التركيب الضوئي.

كُليون
Néphron
وحدة وظيفية صغيرة في الكلية، تصفّي الفضلات من الدم لتكوّن البول.

كنسج
Organite
بنية صغيرة جداً موجودة في الخلية. يقوم كل نوع من الكناسج داخل الخلية بوظيفة محددة (نقل، تركيب، تحلّل... الخ).

لحاء
Phloème
مجموعة الأوعية الموصلة التي توزع النسغ التام في كل أنحاء النبتة.

لقاح (حبوب)
Pollen (grains de)
كائنات حية صغيرة جداً موجودة في الجزء الأعلى من السداة وتحتوي على الخلايا التي هي أساس الحيوانات المنوية لدى النباتات.

لمفا مائع
Lymphe
(«وسط داخلي») يحيط بالخلايا، وتستمد منه هذه الأخيرة عناصرها المغذية وتطرح فيه فضلاتها. يصرّف اللمفا عبر الأوعية اللمفاوية ويعود نحو الدم.

مئبر
Anthère
الجزء المتمدد من السداة الذي يحمل حبوب اللقاح.

مجموع وراثي (أو جينوم)
Génome
مجموعة الجينات لدى نوع معين.

محيط حيوي
Biosphère
مجموعة كل المجالات الأرضية حيث تنمو فيها الحياة وتتطور. مجموعة الأنظمة البيئية.

مدقّة
Pistil
الجزء الذي يأوي المبيض في الزهرة.

مرسلات (أو نواقل عصبية)
Neurotransmetteurs
مادة كيماوية ناقلة تطلقها الخلايا العصبية لنقل السائل العصبي إلى خلايا عصبية أخرى أو إلى خلايا عضلية.

مستقبل حواسي
Récepteur sensoriel
لاقط يكون في تماس مع الوسط الخارجي أو موجود في الأعضاء. يكون المستقبل قادراً على كشف تغيرات عنصر فيزيائي (تغيّر الضوء، الضغط الدموي، الذبذبات الضوئية) أو كيماوي وعلى تحويلها إلى رسائل عصبية.

مستقبل نوعي
Récepteur spécifique
جزيئة موجودة على سطح الخلايا التي تعرف بالخلايا المستهدفة. يمكن لهذه الجزيئة أن ترتبط بشكل مكمل مع جزيئة ناقلة خاصة (هرمون، مرسلات عصبية، الخ...).

مشيج (أو عروس)
Gamète
خلية جنسية لدى النباتات والحيوانات (حيون منوي أو بويضة).

مضاد (أو صنوية)
Allèle
شكل يمكن للجينة أن تظهر به. بتعبيرها، تكون المضادات في أساس تغيّر السمات من فرد إلى آخر.

مفصليات الأرجل
Arthropodes
شعبة واسعة من الحيوانات ذات هيكل خارجي من مادة الدّرعة (القوقعة) ولها قوائم مفصلية، تضم العنكبوتيات، والحشرات، وأم أربع وأربعين والقشريات.

مكتسب
Acquis
صفة تطلق على سلوك حيواني يتم اكتسابه بعد مرحلة من التدرّب.

منبّه (أو حافز)
Stimulus
إشارة قادرة على إطلاق رد فعل مستقبل حواسي (منبّه ميكانيكي، كيماوي، ضوئي، صوتي، الخ...).

مَنْسَل (أو غدة تناسلية)
Gonade
غدة حيوانية ذكرية (خصية) أو أنثوية (مبيض)، تنتج الأمشاج وتفرز الهرمونات الجنسية.

نسغ تام
Sève élaborée
نسغ يتحمل بالمواد العضوية الناتجة خلال عملية التركيب الضوئي لدى النباتات.

نسغ خام
Sève brute
مائع نباتي يُستمد من التربة بواسطة الجذور ويتكون من ماء وأملاح معدنية.

نسيج الخشب (كيسم)
Xylème
نظام وعائي (أو قنوي) لدى النباتات، ينقل النسغ الخام من الجذور حتى الأوراق.

نظام بيئي
Écosystème
مجموعة الكائنات الحية والعلاقات التي تقيمها هذه الأخيرة فيما بينها ومع بيئتها (نظام بيئي بحري، حرجي، الخ...).

نَظْم سركادي
Rythme circadien
نظم بيولوجي يمتد على فترة 24 ساعة.

نغفة
Chrysalide
حالة صَبوية (حوراء) تمر فيها الفراشات، تمثل العبور من اليرقانة إلى حالة البلوغ وتتجسد بإنتاج الشرنقة.

نمط وراثي
Génotype
مجموعة جينات فرد معين. لكل أفراد نوع معين، في الواقع، نفس البرنامج الجيني الأساسي (جينوم)، لكن هذه الأفراد تبرز اختلافات فردية صغيرة.

نويدة
Nucléotide
جزيئة عضوية تتكوّن من تجمع سكر، وقاعدة أزوتية وحامض فوسفوري. يتكوّن الحامض النووي ADN من تسلسل نويدات عديدة.

هرمون
Hormone
جزيئة تفرزها غدة صماء وتنتقل في الدم، وهي تلعب دور مرسال كيماوي وظيفته مراقبة نشاط عضو مستهدف عن بعد.

هيكل دعامي باطني
Endosquelette
هيكل موجود داخل الجسم، يتكوّن من قطع دعم، مكوّنة بدورها من غضروف أو عظم لدى الفقريات.

هيكل دعامي خارجي
Exosquelette
هيكل خارجي لدى مفصليات الأرجل والرخويات (صدفة، قوقعة).

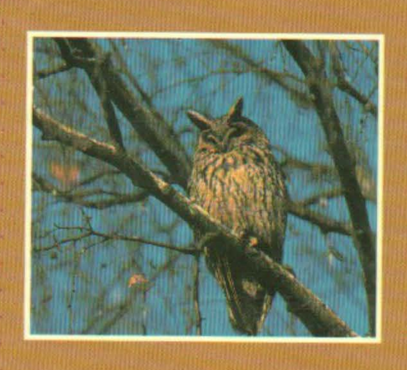
وريد
Veine
وعاء دموي يرجع الدم من عضو معين إلى القلب.

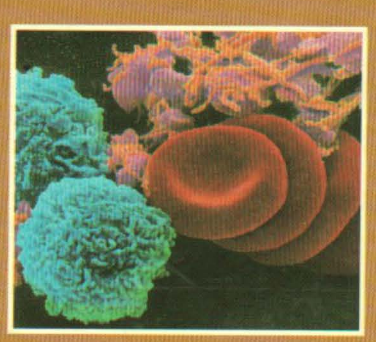
وعاء شعري
Capillaire
وعاء صغير للغاية تجعل جدرانه الرقيقة المبادلات الغازية والغذائية ممكنة (أوعية شعرية سنخية، معوية، كلوية).

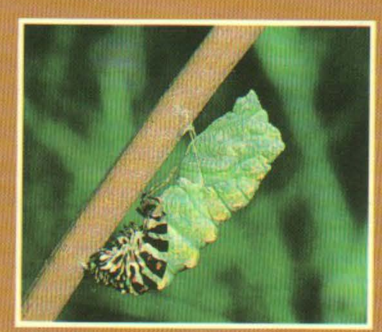

منتدى إقراء الثقافي
www.iqra.ahlamontada.com
للكتب (كوردى , عربي , فارسي)



موسوعة LAROUSSE







تيسّر هذه الموسوعة التي تجمع مؤلفات علميّة مبسّطة لذة القراءة وسهولة المطالعة. فهي تبحث في مواضيع العلم الكبيرة المتعلقة بالبيئة والإنسان وكل الكائنات الحيّة، كذلك الظواهر الطبيعية المتغيرة مع مرور الزمن، وآثارها المدمرة. كما أنها تبين لنا مدى تدخل الإنسان في بعض الحالات، بطريقة مباشرة أو غير مباشرة في تفعيل بعض الكوارث البيئية. من هنا تأتي ضرورة الاهتمام والحفاظ على البيئة، حتى نتمكن - قدر الإمكان - من تخفيف حدة الآثار السلبية ونصبح في الوقت نفسه أكثر استعداداً لمواجهتها.

موسوعة تناسب كل أفراد العائلة

عناوين هذه السلسلة

الإنسان والبيئة | كوكب ذو ألف وجه ■ الماء والأوساط المائية ■ التربة والهواء.

تهديدات البيئة | الإنسان المهدد ■ الأوساط الكبيرة المهددة ■ الحفاظ على البيئة.

البيئة والكائنات الحيّة | وظيفة الخلايا ■ وظيفة الأحياء.

الحياة وعلم البيئة | العلاقات بين الأحياء ■ علم البيئة والأوساط الكبيرة في الحياة ■ التطوّر.



